

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**A FOTOGRAMETRIA AÉREA COMO FERRAMENTA NA
RESTITUIÇÃO DE PAISAGENS SUBMERSAS POR
ALBUFEIRAS**

– O Caso da Barragem da Venda Nova -

Mário João do Carmo Filipe

Dissertação

Mestrado em Engenharia Geográfica

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**A FOTOGRAMETRIA AÉREA COMO FERRAMENTA NA
RESTITUIÇÃO DE PAISAGENS SUBMERSAS POR
ALBUFEIRAS**

– O Caso da Barragem da Venda Nova–

Mário João do Carmo Filipe

Dissertação orientada pela Professora Doutora Paula Redweik

Mestrado em Engenharia Geográfica

2013

Agradecimentos

À Professora Doutora Paula Redweik, pela oportunidade dada em realizar esta dissertação sob sua orientação, pela sua insistência na sua concretização e por todo o apoio prestado.

Ao IGeoE pela oportunidade concedida em realizar todo o trabalho prático, inerente ao estudo, nas suas instalações e pela forma com que fui integrado nas rotinas da Instituição.

Ao Ten. Cor. Rui Dias pelo seu apoio, dedicação e interesse na realização desta dissertação.

Ao Sargento-Ajudante José Dias por todo o seu auxílio, assistência e disponibilidade apresentada, de uma forma particular, em todo o processo da triangulação aérea automática e geração do modelo digital de superfície.

Ao Sargento-Ajudante Manuel Picaró e a Alferes Ana Marques por toda a ajuda e interesse demonstrado no processo de ortorrectificação das fotografias aéreas e na criação do ortomosaico.

Ao arqueólogo João Fonte, pela ajuda prestada na campanha de coordenação dos pontos fotogramétricos, pelos conhecimentos partilhados e pela disponibilidade apresentada ao longo da dissertação.

À minha namorada, amiga e grande braço direito, Liliana Lopes, pela força e incentivo na minha vida pessoal e académica, indispensável no percorrer deste longo percurso.

Aos meus pais e padrinhos por todas as forças reunidas e lutas travadas para me darem a possibilidade de um futuro melhor.

A todos os meus restantes familiares, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos "académicos" que permitiram de alguma forma atingir esta meta.

Por último, fico grato a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram positivamente para a concretização desta dissertação.

Resumo

As coberturas fotográficas antigas da superfície terrestre adquiriram um papel importante na documentação do passado, funcionando como meio para a descoberta de vestígios arqueológicos, indiciados a partir das características do relevo.

O presente trabalho reforça a importância dos trabalhos fotogramétricos como ferramenta na restituição de paisagens submersas, tendo como base os negativos das fotografias aéreas da cobertura aérea realizada em 1949 identificada como “SPLAL”.

Inicialmente, importou recuperar a relação entre as fotografias e o objecto fotografado, isto é, informações características do voo.

Posteriormente realizou-se uma triangulação automática em bloco por feixes perspectivos para determinar a orientação espacial das fotografias, recorrendo ao *software* ISAT®, apoiada em pontos fotogramétricos naturais coordenados no terreno.

Recorreu-se ao *software* ISAE® para gerar o modelo digital de superfície para cada modelo estereoscópico, reunindo a informação de todos os modelos, obtendo um MDS para toda a zona de estudo. Com os ficheiros de coordenadas terreno dos pontos constituintes do MDS gerou-se uma TIN, em Arcgis®.

Seguidamente, efectuou-se a ortorrectificação de todas as imagens gerando um ortomosaico da zona de estudo.

Por último, obteve-se um modelo tridimensional com textura real da área de trabalho, associando ao ortomosaico um ficheiro de elevações (MDS).

Através da criação de um vídeo, efectuou-se a simulação dos diversos níveis de cota da albufeira dos últimos trinta anos, com o intuito de identificar que elementos arqueológicos e estruturas antigas foram submersos pela albufeira.

O objectivo principal deste trabalho prende-se com a aplicação de técnicas de fotogrametria digital para a restituição da paisagem da zona de trabalho antes da construção da barragem da Venda Nova, na tentativa da recuperação de elementos físicos, essencialmente do troço da Via Romana XVII que se encontra submerso pelas águas da albufeira, e da identificação de estruturas da Idade do Ferro.

Palavras chave: Fotogrametria digital, Aerotriangulação, Modelo Digital de Superfície, Ortomosaico, Restituição de Paisagens.

Abstract

The old photographic coverage of the land surface have acquired an important role in archaeology, functioning as a way to discover archaeological vestiges, indicated by the characteristics of the relief.

The present work strengthens the importance of the photogrammetric works as tool in the restitution of submerged landscapes, having as base the negatives of air photographs of the accomplished aerial covering in 1949 classified as “SPLAL”.

Initially, it mattered to recover the relation between photographs and the photographed object, i.e., characteristic information of the flight.

Later an automatic triangulation with bundle adjustment has been done to determine the spatial orientation of the photos, using the software ISAT®, supported in natural ground control points, coordinated on the field. Software ISAE® was used to generate the digital surface model for each stereoscopic model, obtaining a DSM for the study zone after gathering the information of all the models. With the files of the mass points of the DSM, a TIN was generated, in Arcgis®.

Finally, a three-dimensional model with real texture of the working area was obtained, associating the orthomosaic with an elevation file (DSM).

Through the creation of a video, the diverse heights of the water level in the dam were simulated with the intention of identifying those archaeological elements and old structures which were submerged.

The main objective of this work is the application of the digital photogrammetry techniques for the restitution of the landscape of the study area before the construction of Venda Nova dam, in the attempt to recover physical elements, essentially the submerged route of the Roman Via XVII.

Keywords: Digital Photogrammetry, Aerotriangulation, Digital Surface Model, Orthomosaic, Recovery of landscapes.

Índice geral

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice geral.....	iv
Lista de figuras.....	vi
Lista de Tabelas	ix
Glossário de Siglas.....	x
Introdução.....	1
✓ Problema e objectivos	5
✓ Organização do trabalho.....	6
✓ Caracterização da instituição de apoio ao projecto: Instituto Geográfico do Exército .	6
Capítulo 1 – Fundamentos Teóricos	8
1.1. A Fotogrametria Aérea e as suas aplicações na arqueologia.....	8
1.2. Organização e planeamento do voo fotogramétrico	11
1.3. Orientações Fotogramétricas	12
1.3.1. Orientação Interna (OI)	13
1.3.2. Orientação Externa (OE).....	15
1.4. Triangulação Aérea Automática (TAA).....	18
1.5. Modelos Digitais de Superfície (MDS).....	19
1.6. Ortorectificação de fotografias aéreas.....	21
Capítulo 2 – Selecção, Digitalização e Enquadramento dos negativos da zona de estudo ..	24
2.1. Seleção dos Negativos da zona de estudo	24
2.2. Digitalização	26
2.3. Enquadramento físico da área de trabalho	32
Capítulo 3 - Obtenção do apoio à Triangulação Aérea Automática	39
3.1. Definição da localização dos pontos de controlo (PFs)	39
3.2. Coordenação dos pontos fotogramétricos no terreno	42
3.2.1. Pós-processamento dos pontos que não foram coordenados por RTK.....	44
3.2.2. Transformação das coordenadas geodésicas (ETRS89) dos PFs para coordenadas cartográficas (ETRS89_PT_TM06)	46
Capítulo 4 - Triangulação Aérea Automática	51

4.1. Definição dos parâmetros iniciais	52
4.2. Criação de novo projecto.....	53
4.3. Parametrização da câmara	53
4.4. Definição das fiadas	55
4.5. Determinação da orientação interna das fotos.....	56
4.6. Medição dos pontos de controlo (PFs).....	57
4.7. Determinação automática dos pontos homólogos	58
4.8. Realização da Triangulação Aérea.....	60
Capítulo 5 - Obtenção do Modelo Digital de Superfície	63
5.1. Edição das áreas de sobreposição.....	67
Capítulo 6 - Criação do Modelo Tridimensional da zona de estudo	70
Capítulo 7 - Geração de ortofotos e do ortomosaico.....	72
Capítulo 8 - Criação do modelo 3D texturado do terreno	78
8.1. Simulação das diversas cotas da albufeira	79
Resultados	84
Conclusão.....	87
Referências Bibliográficas	89
Bibliografia	93
Sítios da internet consultados	94
Anexos.....	95

Lista de figuras

Figura 1 – Barragem da Venda Nova [Junta de Freguesia de Venda Nova, 2012].....	2
Figura 2 – Imagens Panorâmicas da Barragem da Venda Nova [Junta de Freguesia de Venda Nova, 2012].....	2
Figura 3 (a), (b), (c) e (d) – Vestígios da antiga povoação [Município de Montalegre, 2012].	3
Figura 4 – Via Romana XVII (a vermelho) incompleta.	4
Figura 5 – Nadar em Balão de ar quente [Redweik, 2008].	8
Figura 6 – Câmaras em papagaios de tela [Redweik, 2008].	9
Figura 7 – Câmara Fotogramétrica Aérea Wild [Oliveira, 2008].....	10
Figura 8 – Esquema de fotografia aérea [Oliveira, 2008].	10
Figura 9 – (a.) Sobreposição Longitudinal; (b.) Sobreposição Lateral [Dias e Santos, 2011].....	12
Figura 10 – Marcas fiduciais presentes no negativo.....	14
Figura 11 – Transformação do sistema de coordenadas pixel para sistema coordenadas foto [Brito e Coelho, 2002].....	14
Figura 12 – Parâmetros de orientação externa [Redweik, 2011].....	15
Figura 13 – Ângulos de rotação pitch, roll and yaw [Beinke, 2010].....	16
Figura 14 - Condição de colinearidade [Brito e Coelho, 2002].	16
Figura 15 – (esq.) Projecção central; (dir.) Projecção ortogonal [Redweik, 2011].....	21
Figura 16 – Ortorrectificação digital: Directa (roxo) e Indirecta (Vermelho) [Redweik, 2011].	23
Figura 17 – Folha 44 – Ruivães (Vieira do Minho), da carta militar Portuguesa 1:25000, edição de 1953.	25
Figura 18 – Folha 45 – Alturas do Barroso (Boticas), da carta militar Portuguesa 1:25000, edição de 1952.....	26
Figura 19 – Photoscan TD da Zeiss/Integrgraph [Marques, 2009].....	26
Figura 20 – Processo de configuração da digitalização.....	27
Figura 21 – Posicionamento do negativo no <i>scanner</i> [Marques, 2009].	29
Figura 22 – Selecção da Polaridade de entrada e de saída [Marques, 2009].....	29
Figura 23 – Orientação correcta do negativo no scanner [Intergraph, 2009].	30
Figura 24 – Ferramenta “ <i>Convert Graphics to Features</i> ”.	31
Figura 25 – Comando Extract by mask no Arcgis®.	31
Figura 26 – Georreferenciação da folha 44 e respectiva <i>link table</i>	33
Figura 27 – Georreferenciação da folha 45 e respectiva <i>link table</i>	33
Figura 28 – Medição de um troço na fotografia e o correspondente na carta.	34
Figura 29 – Tamanho do negativo e sua correspondência no terreno (Fiada G).....	37
Figura 30 – Enquadramento dos negativos e das fiadas sobre a folha 44.	37
Figura 31 – Enquadramento dos negativos da fiada A para folha 45.....	38
Figura 32 – Enquadramento Geral (quatro fiadas e duas folhas).	38
Figura 33 – Planeamento do esquema de distribuição dos PFs pela área de estudo.	40
Figura 34 – Distribuição final dos PFs sobre o terreno.	41

Figura 35 – Distribuição do conjunto de PFs coordenados durante a campanha efectuada.....	42
Figura 36 – Distribuição das estações de referência da rede SERVIR pelo Continente [Webserver SERVIR].	43
Figura 37 – Página da internet do WebServer da SERVIR.	44
Figura 38 – Criação de um novo projecto no LGO.	45
Figura 39 – Processamento dos pontos em relação à estação de referência (Chaves). ..	45
Figura 40 – Definição dos sistemas de coordenadas de entrada e de saída e tipo de transformação.	48
Figura 41 – Definição do tipo de coordenadas de entrada e saída e altitudes.	49
Figura 42 – Inserção das coordenadas a transformar.	49
Figura 43 – Coordenadas dos PFs transformadas.....	50
Figura 44 – Esquema do bloco (Fiadas, Foto inicial e Final).....	52
Figura 45 – Definição dos parâmetros da câmara.	54
Figura 46 – Excerto de negativo para demonstrar onde se encontra informação da distância focal.	54
Figura 47 – Sistema de eixos foto que o programa ISAT considera.	55
Figura 48 – Configuração das fiadas no programa ISAT.	55
Figura 49 – Ambiente de medição das coordenadas pixel das marcas fiduciais.	57
Figura 50 – Definição do bloco e selecção das fotografias que lhe pertencem.....	58
Figura 51 – <i>ISAT Control Panel</i> , realização do primeiro <i>Bundle Adjustment</i> [Intergraph,2008]......	58
Figura 52 – Fotografia 25, da fiada A, com características iniciais.	59
Figura 53 – Fotografia 25, Fiada A, depois de submetida a operadores de melhoramento de imagem.	59
Figura 54 – Realização da Triangulação com o comando <i>Photo Triangulation</i>	60
Figura 55 – A área a vermelho delimita as fotos da fiada A que tiveram piores resultados em termos de RMS.	62
Figura 56 – Processo de refinamento do MDE [Intergraph,2008a].	63
Figura 57 – Listagem dos modelos existentes no ficheiro de projecto [Intergraph, 2008a].	64
Figura 58 – Parametrização dos ficheiros de elevação [Intergraph, 2008a]......	66
Figura 59 – Definição do tipo de ficheiros de saída [Intergraph, 2008a]......	66
Figura 60 – Modelo Digital de Superfície em 2D do bloco em estudo.	67
Figura 61 – Enquadramento obtido em Microstation V7® delimitando cada área dos modelos.....	68
Figura 62 – Importação dos pontos coordenados para cada modelo e consequente eliminação do excesso de sobreposição.....	68
Figura 63 – Reconstituição fiada a fiada.	69
Figura 64 – Criação de ficheiros de texto com pontos coordenados de cada fiada.	69
Figura 65 – Criação da TIN a partir da <i>feature class</i> “PTS_org”.....	70
Figura 66 – Resultado da criação da TIN com ampliação do leito do rio.	71
Figura 67 – Principais passos do fluxo de trabalho do ISOP®.	72
Figura 68 – Criação de um novo projecto no ISOP® [Madani, 1999]......	73

Figura 69 – Selecção do ficheiro do projecto realizado no ISAT® [Madani, 1999].....	74
Figura 70 – Esquema de conversões efectuadas.....	74
Figura 71 – Raster obtido.	75
Figura 72 – Diferentes etapas inerentes à criação do ortomosaico.....	75
Figura 73 – Ortomosaico do bloco de trabalho.	76
Figura 74 – Atribuição de uma superfície de elevação à <i>layer</i> do ortomosaico.....	78
Figura 75 – Antes e depois da atribuição do modelo digital de superfície à <i>layer</i> do ortomosaico.	79
Figura 76 – Layer representando a forma e área da inundação da albufeira da Venda Nova.	82
Figura 77 – Diversos <i>keyframes</i> criados para cada valor de cota de albufeira.....	82
Figura 78 – Reconstrução da Via Romana XVII. (Vermelho) Troço submerso; (Preto) Troço visível actualmente [Fonte et al., 2012].	84
Figura 79 – Castro de Codeçoso em 1949 [Fonte et al., 2012].	85
Figura 80 – Ponte do Arco actualmente e a sua localização sobre o ortomosaico [Fonte et al., 2012].	85
Figura 81 – Povoação submersa aquando da inundação pelas águas da barragem.	86
Figura 82 – Castro de Codeçoso (esquerda) antes da inundação, (direita) actualmente.	86
Figura 83 – Antigas vias outrora submersas, agora visíveis dado a redução do nível da água.....	86
Figura 84 – Reduzido nível das águas permite identificar antigas estruturas.	86

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Informação acerca das edições das folhas.....	24
Tabela 2 – Informação acerca de cada folha da carta militar, respectivas fiadas, sentido e número de fotos.	25
Tabela 3 - Cálculo do módulo de escala média da fiada G.	35
Tabela 4 - Média da altitude de voo para a fiada G.....	35
Tabela 5 - Dimensões relativas ao terreno dos negativos das respectivas fiadas.....	36
Tabela 6 - Coordenadas geodésicas dos PFs obtidas após processamento.....	46
Tabela 7 - Coordenadas dos centros de projecção em ETRS89_PT_TM06 das fotografias de início e de fim de fiada.	53
Tabela 8 - Coordenadas fotográficas das marcas fiduciais.....	55
Tabela 9 - Parâmetros da câmara adaptada para realização da TA.	56
Tabela 10 - Controlo de qualidade do ajustamento para os PFs.....	61
Tabela 11 - Valores de resíduos máximos obtidos.....	61
Tabela 12 - Valores de cota da Albufeira de 1983-2011.....	81

Glossário de Siglas

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*

AT - Aerotriangulação

AVI – *Audio Video Interleave*

CAD – *Computer-aided Design*

CCD – *Charge-coupled Device*

CP – Centro de Projecção

DEM – *Digital Elevation Model*

DGSH - Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos

DHM – *Digital Height Model*

DSM – *Digital Surface Model*

DTM – *Digital Terrain Model*

EDP – Energias de Portugal

Ftp - *File Transfer Protocol*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GPRS - *General Packet Radio Service*

GPS – *Global Positioning System*

GSD - *Ground Sample distance*

GSM – *Global System for Mobile*

http -*hypertext Transfer Protocol*

IGeoE - Instituto Geográfico do Exército

IGP - Instituto Geográfico Português

IMU – *Inertial Measurement Unit*

InSAR – *Interferometric Synthetic Aperture Radar*

ISAE – *ImageStation Automatic Elevations*

ISAT – *Imagestation Automatic Aerotriangulation*

ISOP - *Imagestation OrthoPro*

JPEG – *Joint Photographic Experts Group*

LIDAR – *Light Detection And Ranging*

MDS - Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo digital do Terreno

NTRIP - *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*

OE – Orientação Externa

OI – Orientação Interna

PFs - Pontos Fotogramétricos

PPA – *Principal Point of Autocollimation*

PPBS – *Principal Point of Best Symmetry*

RINEX – *Receiver Independent Exchange Format*

RMS - *Root Mean Square*

RTCM - *Radio Technical Commission for Maritime Services*

RTK – *Real Time Kinematic*

SCE – Sistema Cartográfico do Exército

SERVIR – Sistema de Estações de Referência GPS Virtuais

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SITIO – *S.c.e.'s Image Treatment and Internal Orientations*

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SPLAL – Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda.

TAA – Triangulação Aérea Automática

TIFF – *Tagged Image File Format*

TIN – *Triangulated Irregular Network*

VRS - *Virtual Reference Station*

Introdução

Desde a Antiguidade, o ser humano sente a necessidade de descrever, representar e transmitir o território que o rodeia, quer através da escrita quer por representação gráfica. Considerando o património como fonte insubstituível para o conhecimento do passado, o valor informativo e documental que o caracteriza assume um papel preponderante com o desenvolvimento da sociedade da informação.

É inegável o enriquecimento e os avanços dados pelo uso da fotografia documental a este nível. As inovações no campo da imagem digital, as alternativas de registo e rectificação de fotografias, criadas pela possibilidade de manipulação, conferem legitimidade a imagens aparentemente sem qualidade.

Os avanços desta tecnologia têm sido enormes, alcançando imensa utilidade prática nos mapeamentos e planeamentos do território. Hoje, desponta com imenso potencial, a fotogrametria digital, que surgiu nos anos 80, tendo como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados [Ribeiro, s.d.; Coelho e Brito, 2009].

Graças à fotogrametria digital, processos matematicamente complexos puderam ser implementados e popularizados. Hoje, ortofotos têm alcançado níveis de popularidade próximos aos das cartas convencionais, e essa situação tende a perdurar [Coelho e Brito, 2009].

Actualmente, as tecnologias digitais e o património histórico estão cada vez mais próximos, seja no levantamento de estruturas físicas, na documentação fotográfica ou, ainda, na constituição de ferramentas para a pesquisa e distribuição de informações.

A fotografia é um instrumento útil e indispensável em diversas áreas, tornando-se importante ressaltar a versatilidade que a fotografia aérea tem em áreas como a arqueologia. A fotografia aérea passou a usar-se na fotointerpretação e identificação de evidências arqueológicas, convertendo-se num importante recurso para perceber as transformações da paisagem. Trata-se de um partilhar de informações e resultados, crescentemente proveitoso, entre estas duas grandes áreas: fotogrametria e arqueologia.

Objectiva-se abordar, no âmbito desta dissertação, um exemplo demonstrativo do contributo da fotogrametria aérea como ferramenta na restituição de paisagens submersas por albufeiras. Em particular, pretende estudar-se o caso referente à Barragem da Venda Nova, Município de Montalegre.

Recorrendo a um pouco de história, a barragem da Venda Nova (Figuras 1 e 2) foi construída em inícios da década de 50 e é alimentada pelo curso de água do Rio Rabagão. É uma barragem em arco abóbada, com 97 metros de altura. Pertence à bacia hidrográfica principal do Cávado e possui uma bacia hidrográfica própria de 136,58 km² [Junta de Freguesia de Venda Nova, 2012; Município de Montalegre, 2012].



Figura 1 – Barragem da Venda Nova [Junta de Freguesia de Venda Nova, 2012].



Figura 2 – Imagens Panorâmicas da Barragem da Venda Nova [Junta de Freguesia de Venda Nova, 2012].

Esta obra deixou submersa a aldeia inteira, terrenos adjacentes e muitas recordações (ver lista de construções submersas em Anexo A).

Várias têm sido as alterações feitas à barragem. Já no presente, a construção da Venda Nova III obrigou ao esvaziamento da albufeira, sendo assim possível visualizar partes da antiga povoação (Figura 3) [Município de Montalegre, 2012].

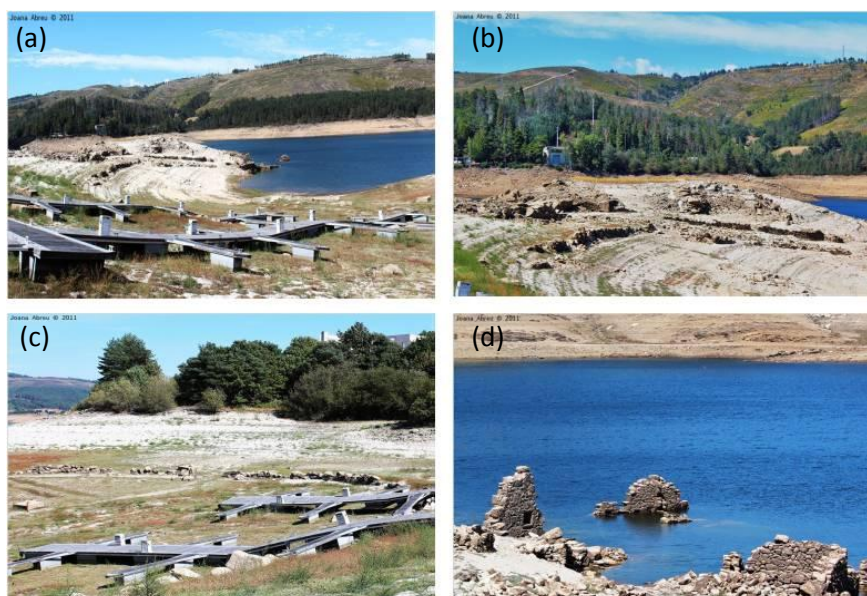


Figura 3 (a), (b), (c) e (d) – Vestígios da antiga povoação [Município de Montalegre, 2012].

Neste estudo em particular, recorre-se ao uso de fotografias aéreas e a algumas técnicas para obtenção de produtos fotogramétricos da zona da Venda Nova, antes da inundação provocada pela albufeira. A partir da fotogrametria, pretende obter-se um Modelo Digital de Superfície (MDS) da zona e um ortomosaico, construído a partir do processo de ortorrectificação. Estes produtos servirão de base para a fotointerpretação e análise da paisagem hoje submersa pela albufeira, por parte do arqueólogo João Fonte, na tentativa de restituir elementos físicos da época anterior à construção da Barragem.

Além da detecção da presença de alguns elementos da Idade do Ferro submersos, pretende-se restituir o troço da Via Romana XVII, via que serviu para circulação de pessoas e de bens, principalmente metais preciosos, que se encontra hoje parcialmente submersa. A Via Romana XVII, que ligava *Bracara Augusta* (Braga) a *Asturica Augusta* (Astorga), por *Aque Flaviae* (Chaves), encontra-se em bom estado de conservação, apenas cortado pelas albufeiras da Venda Nova e do Alto Rabagão.

A Figura 4 mostra o troço da Via Romana conhecida e o que está em falta na área de estudo, ou seja, submerso pela albufeira da Venda Nova.



Figura 4 – Via Romana XVII (a vermelho) incompleta.

O troço que contempla a freguesia da Venda Nova, trata-se de um dos mais conhecidos da Via XVII do Itinerário de Antonino, onde foram registados miliários¹ *in situ* e principalmente onde se encontraram miliários com marcação desde Chaves e desde Braga, na mesma milha, facto que não se volta a constatar no decurso desta via. Neste troço, existiam ainda duas pontes: a do Arco, no limite de concelho com Vieira do Minho e a dos Três Olhais, no sopé do castro de Codeçoso, e que foi destruída pelas cheias. Neste percurso de cerca de 4,5 km encontram-se dez miliários [Portal do Arqueólogo,s.d.].

O estudo em causa desenvolver-se-á tendo por base os aspectos indicados nesta nota introdutória, que servirão de contextualização para o trabalho desenvolvido.

¹ Marcos romanos de distância, colocados numa via.

✓ Problema e objectivos

Como *problema* deste estudo de caso pode apontar-se a necessidade da restituição da paisagem submersa pela construção da barragem da Venda Nova, de maneira a ser efectuado um estudo arqueológico para detecção e identificação de elementos da Idade do Ferro e recuperar digitalmente o traçado da Via Romana XVII que se encontra hoje submerso pelas águas da albufeira.

Como *objectivo geral* pretende-se a demonstração do potencial da fotogrametria aérea, usando processos digitais, na área da arqueologia, nomeadamente na restituição de paisagens submersas. Como etapas deste estudo podem indicar-se:

- Pesquisa do estado da arte da fotogrametria aérea com aplicação na arqueologia;
- Utilização da técnica da fotogrametria como meio de documentação histórica;
- Coordenação dos pontos de apoio no terreno;
- Realização da TAA;
- Geração de um modelo digital de superfície recorrendo ao ISAE®;
- Geração de um ortomosaico para o bloco de trabalho em estudo, com recurso ao ISOP®;
- Geração de um modelo tridimensional, em meio digital, da área submersa pela albufeira, como forma de documentação da mesma;
- Criação de um vídeo representativo dos diversos níveis de cota da albufeira ao longo das últimas três décadas;
- Análise das características próprias do MDS e do ortomosaico obtidos;
- Correlação entre o passado e o presente: detecção e análise de elementos arqueológicos antes e após a inundação provocada pela construção da barragem da Venda Nova;
- Fotointerpretação e análise, com o apoio de um arqueólogo parceiro neste projecto, da paisagem hoje submersa pela albufeira;

- Restituição, pelo arqueólogo, dos elementos físicos da época anterior à construção da Barragem, nomeadamente, o troço da Via Romana XVII hoje submerso e alguns elementos arqueológicos da Idade do Ferro.

✓ **Organização do trabalho**

Este trabalho encontra-se estruturado em oito capítulos, um inicial em que se faz um enquadramento teórico ao tema, e sete restantes, referentes ao estudo de caso em causa. Os capítulos encontram-se distribuídos da seguinte forma:

Capítulo 1: Fundamentos Teóricos

Capítulo 2: Selecção, Digitalização e Enquadramento dos negativos da zona de estudo

Capítulo 3: Obtenção do apoio à TAA

Capítulo 4: Triangulação Aérea Automática

Capítulo 5: Obtenção do Modelo Digital de Superfície

Capítulo 6: Criação do Modelo Tridimensional da zona de estudo

Capítulo 7: Geração de ortofotos e ortomosaico

Capítulo 8: Criação do Modelo 3D texturado do terreno

✓ **Caracterização da instituição de apoio ao projecto: Instituto Geográfico do Exército**

O presente trabalho foi realizado no Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), pelo que se torna essencial uma pequena descrição e conhecimento acerca desta instituição.

O IGeoE foi criado em 1993, por Despacho Ministerial 72/MDN/93 de 30 de Junho, na sequência da reestruturação operada no Exército, sucedendo ao Serviço Cartográfico do Exército (SCE), e tornando-se, assim, no detentor do espólio e das tradições cartográficas militares portuguesas [IGeoE, 2012].

O IGeoE passou a ser o órgão responsável pela informação geográfica do Exército. Foi-se transformando numa instituição aberta a novos desafios, desenvolvendo trabalhos de

grande ênfase a nível nacional e internacional, destacando a produção da Carta Militar Portuguesa na escala 1:25000 como a sua mais importante realização.

A instituição está organizada em diversos departamentos e secções, sendo importante referir a Secção de Fotogrametria, integrada no Centro de Produção Cartográfica, onde foram realizadas as operações fotogramétricas deste estudo. Esta secção encontra-se intimamente ligada com o Departamento de Aquisição de Dados, cujas acções passam por apoiar, reconhecer e restituir as fotografias aéreas e/ou imagens digitais que servem de suporte à aquisição de informação para a base de dados geográfica, sendo igualmente responsável por salvaguardar e preservar os processos correspondentes que originaram os dados adquiridos e produzir ortofotocartas e ortoimagens (Anexo B) [IGeoE, 2012].

É de salientar que a possibilidade de efectuar este trabalho no IGeoE garante a utilização dos melhores *softwares* de processamento fotogramétrico e de aparelhos de fotogrametria de elevada qualidade e precisão.

Capítulo 1 – Fundamentos Teóricos

1.1. A Fotogrametria Aérea e as suas aplicações na arqueologia

Segundo Brito e Coelho [2002], “*Fotogrametria é a ciência e tecnologia de se restituir o espaço tridimensional, ou parte do mesmo (espaço objecto) a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas electromagnéticas (espaço imagem), sem contacto físico directo com o objecto ou alvo de interesse*”.

Para expressar os diferentes modos de posição do sensor, convencionou-se o uso de três definições, nomeadamente, fotogrametria terrestre, fotogrametria aérea, ou aerofotogrametria, e fotogrametria orbital. A fotogrametria aérea está envolvida com a geomática, na qual as fotografias do terreno são captadas por uma câmara de precisão acoplada a uma plataforma aérea, com o eixo óptico da câmara na vertical; na fotogrametria terrestre são utilizadas fotografias obtidas de estações fixas e de posições determinadas sobre o terreno, com o eixo óptico da câmara próximo da horizontal ou oblíquo; a fotogrametria orbital começa a ter crescente utilização e envolve o processamento de imagens de satélite de alta resolução [Brito e Coelho, 2002; Tommaselli *et al.*, 1999; Duarte, 2004].

Atribui-se normalmente ao jornalista e fotógrafo Félix Nadar (1820-1910) a primeira aventura de uma fotografia aérea, obtida a partir de um balão de ar quente a sobrevoar Paris (Figura 5), a oitenta metros de altura, em 1858 [Redweik, 2008; Oliveira, 2008; Rocha *et al.*, s.d.].



Figura 5 – Nadar em Balão de ar quente
[Redweik, 2008].

Primordialmente, assim como o balão de ar quente, foram utilizadas outras plataformas aéreas como o papagaio em tela (Figura 6).

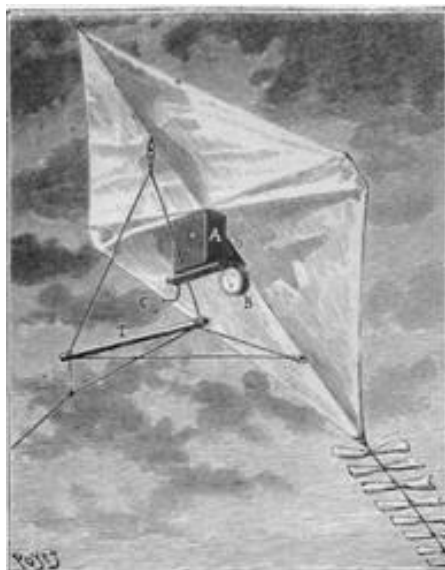


Figura 6 – Câmaras em papagaios de tela [Redweik, 2008].

Finalmente em 1903, com a chegada do avião, invenção dos irmãos americanos Orville e Wilbur Wright, este rapidamente se tornou na plataforma aérea favorita para geração de bases cartográficas, permitindo um grande desenvolvimento da fotogrametria aérea.

A aplicação da fotogrametria aérea apresentou grandes avanços, principalmente devido às suas aplicações militares. Na Guerra Civil americana as fotografias aéreas, segundo especialistas, evitaram desastres aos exércitos da União na contra-ofensiva que levaram a efeito contra as tropas Confederadas [Oliveira, 2008; Rocha et al., s.d].

A fotografia aérea demonstrou, ao longo dos tempos, ser um instrumento valioso no estudo dos centros históricos e do território, tanto no que se refere ao urbano, como ao arquitetónico e também ao arqueológico.

É evidente que os levantamentos aéreos são mais complexos do que os terrestres, exigindo pessoal especializado na sua execução quando se trata de fins fotogramétricos. Essa técnica implica o emprego de câmaras métricas especiais (Figura 7) e tomadas fotográficas verticais (idealmente nadirais) como apresentado na Figura 8.

A fotografia aérea, para ser usada em fotogrametria, é realizada com câmaras aerotransportadas que produzem séries de fotografias com determinada sobreposição longitudinal e lateral.



Figura 7 – Câmara Fotogramétrica Aérea Wild [Oliveira, 2008].

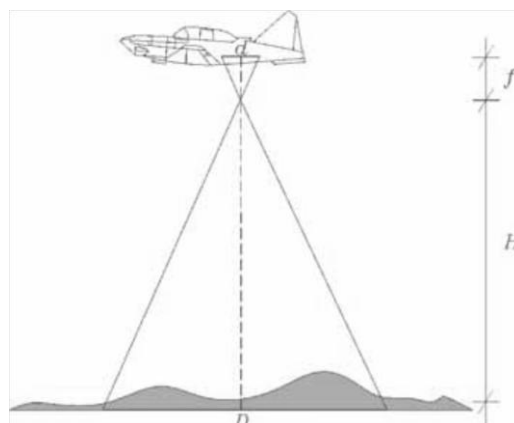


Figura 8 – Esquema de fotografia aérea [Oliveira, 2008].

A fotogrametria aérea tornou-se há décadas uma peça indispensável na produção cartográfica. Esta técnica é, indubitavelmente, o meio actualmente mais utilizado para aquisição de geoinformação, para a produção de cartas topográficas de raiz e para a sua actualização. A fotogrametria tornou-se também numa das técnicas de aquisição de dados para um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Antecedida pela fotogrametria analógica e pela fotogrametria analítica, surge nos anos 80, a fotogrametria digital, tendo como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados (Anexo C).

Segundo Brito e Coelho [2002], “*a fotogrametria digital tem como seu objectivo principal a reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço objecto), a partir de imagens bidimensionais (espaço imagem)*”.

Pode então considerar-se que a fotogrametria digital nasce a partir do momento em que a entrada de dados passa a ser feita de modo digital, quer pela digitalização das fotografias ou directamente por câmaras digitais.

Importa, no âmbito desta dissertação, analisar as possibilidades de aplicação da fotogrametria aérea na arqueologia e ressaltar a versatilidade que a fotografia aérea demonstra nesta área. Segundo Osório e Salgado [2007], a arqueologia necessita de informação espacial para diversas áreas do seu âmbito de aplicação. A análise e compreensão dos padrões de distribuição dos sítios arqueológicos, a organização de povoados antigos e a influência da paisagem na vida do homem, foram desde sempre áreas de grande interesse para esta ciência.

Segundo Cuenca [2011] a fotografia aérea passou a usar-se na fotointerpretação e identificação de evidências arqueológicas, convertendo-se num recurso para perceber transformações da paisagem.

A título de exemplo, em 2011, Cuenca e a sua equipa usaram fotografias aéreas e empregaram técnicas de restituição fotográfica para obter produtos cartográficos do *Vado de Alconétar* antes da inundação provocada pela albufeira. A partir da fotogrametria, obteve-se um MDS da zona e um ortomosaico digital construída a partir da ortorrectificação, que serviria de base para fotointerpretar e analisar a paisagem.

De igual modo, Walstra [2006] comprovou a fiabilidade de usar fotografias aéreas de diferentes anos para o estudo de movimentos de terras (*landslide*) ocorridos em dois locais distintos, *Mam Tor e East Pentwyni*, recorrendo a métodos fotogramétricos modernos apropriados (fotogrametria digital). O autor refere que os produtos derivados das fotografias aéreas são úteis e precisos o suficiente para monitorizar movimentos de terra. Conclui que quando se utilizam os métodos da fotogrametria moderna, os arquivos históricos de fotografias aéreas desempenham um papel fundamental, permitindo gerar dados inestimáveis para estudos de movimentos de terra.

Segundo Oliveira [2008], Schmiedt resume as características e finalidades das capturas fotográficas aéreas para fotointerpretação arqueológica, que nos importam neste estudo, como: documento para mostrar a conformação topográfica das áreas de interesse arqueológico; veículo de obtenção do relevo do terreno, propiciando a visão da morfologia do terreno em questão (estereoscopia) e da localização topográfica das estruturas; instrumento de investigação, entre outros.

1.2. Organização e planeamento do voo fotogramétrico

É importante ter-se conhecimento acerca da organização do voo, de modo a que se possam manusear adequadamente as fotografias e obter as informações de interesse. Os voos fotogramétricos são planeados de forma a obter-se uma cobertura da zona a levantar, constituída por fotografias verticais. Oliveira [2008] e Redweik [2010] referem que, do ponto de vista da orientação dos voos, estes devem varrer faixas paralelas. A direcção preferencial é Este-Oeste ou Norte-Sul, quando se trata do levantamento de uma área. As tomadas fotográficas, sincronizadas com a velocidade do avião, devem

constituir uma série de fotografias que sejam sobrepostas longitudinalmente em pelo menos 60% da sua área (Figura 9a) de modo que todas as partes do terreno sejam sempre cobertas no mínimo por duas fotos, possibilitando o efeito da estereoscopia. A sobreposição lateral entre fiadas (Figura 9b) deverá estar entre os 10% e 30%. Existem casos nos quais, algumas coberturas fotográficas aéreas do terreno para restituição da topografia apresentam, por motivos económicos, outra configuração.

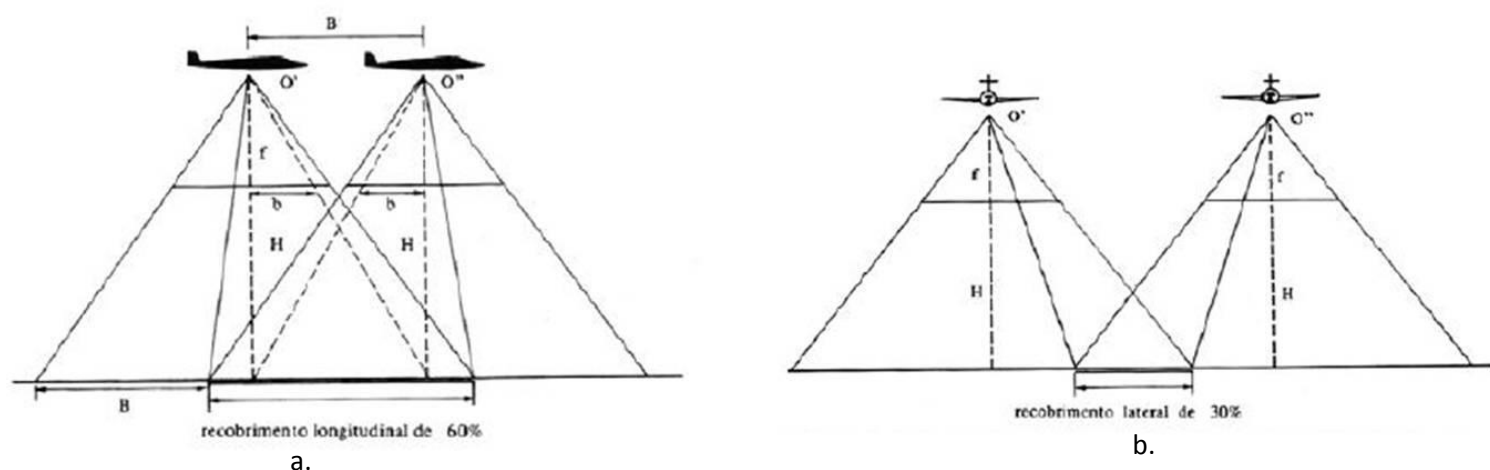


Figura 9 – (a.) Sobreposição Longitudinal; (b.) Sobreposição Lateral [Dias e Santos, 2011].

1.3. Orientações Fotogramétricas

No momento de obtenção das fotografias, num ponto do espaço, gera-se uma relação espacial única entre a imagem que se forma no plano imagem dentro da câmara aérea e o objecto que se fotografou. A relação gerada, característica de cada fotografia, é definida por um conjunto de parâmetros que permitem recuperar em qualquer altura a relação entre a fotografia e o objecto, permitindo extrair informação geométrica das fotografias – restituição.

Existem quatro tipos de orientações fotogramétricas: orientação interna, orientação externa, orientação relativa e orientação absoluta.

Para a obtenção de uma informação métrica cuidada são necessários parâmetros geométricos da câmara, ou seja, parâmetros de orientação interna, que permitem recuperar a geometria projectiva para o instante da captura da foto, e parâmetros de

orientação externa, que posicionam e orientam a imagem num sistema de referência objecto. A primeira refere-se então à posição do plano imagem dentro da câmara e à definição do feixe perspectivo de raios luminosos que originou a imagem (abertura e pólo); a segunda refere-se à posição da câmara e à orientação do eixo fotográfico no espaço objecto. A orientação relativa define a posição de uma ou várias fotos, uma em relação às outras. Quando se trata de um par estereoscópico, é possível obter um modelo virtual do objecto, observável e mensurável tridimensionalmente ao recuperar-se a orientação relativa. A orientação do modelo no espaço e a sua escala relativamente ao objecto designa-se por orientação absoluta [Resende, 2008; Redweik, 2011].

Abordam-se com maior pormenor as orientações interna e externa, pela sua aplicação e importância no estudo em questão.

1.3.1. Orientação Interna (OI)

Segundo Derenyi [1996] e Sequeira [2006], o objectivo da OI é a reconstrução do feixe perspectivo que deu origem à fotografia. Torna-se necessário reconstituir o sistema interno câmara-imagem correspondente ao momento de obtenção das fotografias, por forma a conseguir medições de elevada precisão sobre as imagens, utilizando o sistema de coordenadas pixel (próprio das imagens digitais). No caso das câmaras analógicas o sistema de coordenadas fotográfico é definido pelas marcas fiduciais (Figura 10) que se encontram no plano imagem, logo, esta reconstituição requer a medição das coordenadas pixel das marcas fiduciais e a localização dessas marcas em milímetros, a partir do ponto médio² da fotografia.

² Ponto médio da fotografia: origem do sistema de coordenadas foto; intersecção das rectas que unem as marcas fiduciais diametralmente opostas.

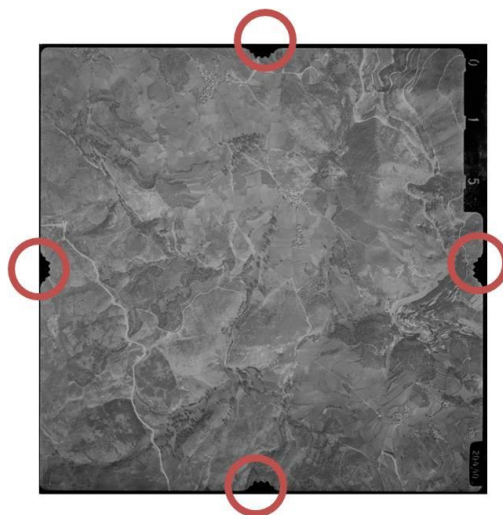


Figura 10 – Marcas fiduciais presentes no negativo.

O processo prossegue com o cálculo dos parâmetros de transformação entre o sistema pixel e o sistema de coordenadas fotográfico.

A transformação entre o sistema pixel e o sistema métrico (Figura 11) torna-se importante, na medida em que se uniformizam as unidades utilizadas, reportando tudo às unidades do objecto (metros). Esta transformação permite corrigir vários erros, passíveis de causar deformações rotativas, translacionais e de factor de escala da imagem digitalizada.

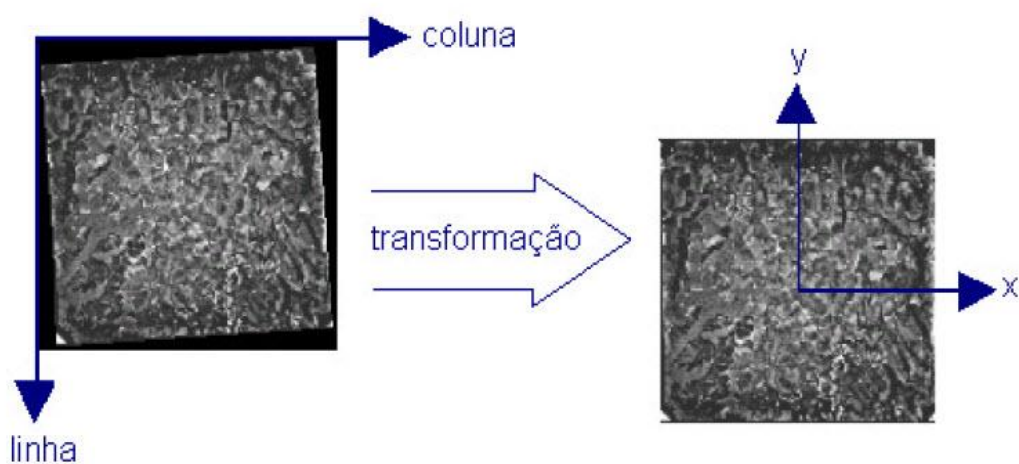


Figura 11 – Transformação do sistema de coordenadas pixel para sistema coordenadas foto [Brito e Coelho, 2002].

Para parâmetros de entrada desta transformação têm-se as coordenadas fotográficas das marcas fiduciais, originalmente, constantes no certificado de calibração da câmara

utilizada, e as coordenadas pixel das mesmas, medidas na imagem digitalizada. Assim, como as marcas fiduciais são comuns aos dois sistemas (sistema de coordenadas foto e pixel) é possível calcular os parâmetros de transformação entre ambos os sistemas.

1.3.2. Orientação Externa (OE)

A OE é definida por um conjunto de seis parâmetros: três coordenadas terreno do centro de projecção da câmara aérea (X_0 , Y_0 , Z_0) e os três ângulos de atitude do avião (ω, ϕ, κ). X_0 , Y_0 e Z_0 representam a posição do centro de projecção no eixo dos XX , no eixo dos YY e no eixo dos ZZ , respectivamente, no sistema de coordenadas objecto.

Os três ângulos permitem relacionar os eixos do sistema de coordenadas foto com os eixos do sistema de coordenadas objecto, assim, ω é um ângulo de rotação em torno do eixo dos XX , ϕ é um ângulo de rotação em torno do eixo dos YY e κ representa um ângulo de rotação em torno do eixo dos ZZ do sistema de coordenadas objecto (Figura 12).

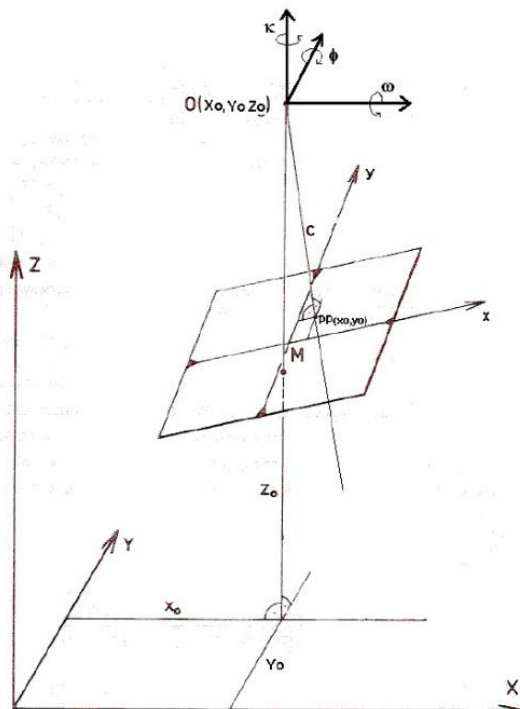


Figura 12 – Parâmetros de orientação externa [Redweik, 2011].

Existem, à partida, mais dois conjuntos de ângulos, convenientes em certas aplicações, sendo estes: os ângulos de rotação *pitch*, *roll*, *yaw* (ou *heading*) (Figura 13) e azimute, inclinação e rotação em torno do eixo óptico.

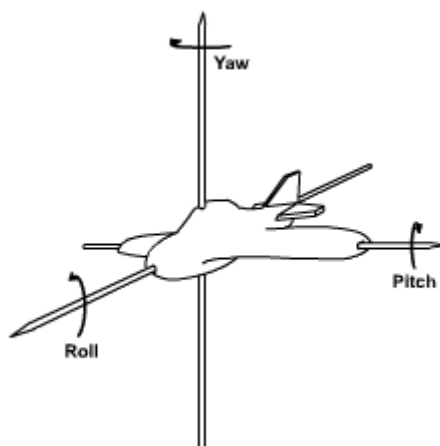


Figura 13 – Ângulos de rotação pitch, roll and yaw [Beinke, 2010].

Os parâmetros de orientação externa podem ser determinados directa ou indirectamente. São obtidos pelo método directo na altura de aquisição da fotografia, realizando o voo com um sistema *Global Positioning System/ Inertial Measuring System*³ (GPS/IMU) acoplado e indirectamente obtidos através da sua determinação analítica considerando pelo menos três pontos por fotografia, não colineares, de coordenadas terreno conhecidas (PF's) visíveis nas fotografias, recorrendo assim às equações de colinearidade, seguindo a premissa que o centro de projecção CP, o ponto imagem P' e o ponto objecto P têm de estar sobre a mesma linha recta (Figura 14).

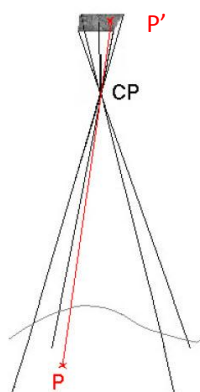


Figura 14 - Condição de colinearidade [Brito e Coelho, 2002].

³ GPS/IMU – poderoso instrumento de posicionamento e orientação de objectos em movimento.

Para tornar o sistema de coordenadas fotográfico coincidente com o sistema de coordenadas objecto, ambos com a mesma origem, surge a necessidade de o rodar e escalar.

Oliveira [2003], Brito e Coelho [2002] e Schenk [2005] apresentam uma descrição detalhada do desenvolvimento matemático e da formulação das equações de colinearidade, apresentadas de seguida:

$$\begin{bmatrix} x_P \\ y_P \\ -c \end{bmatrix} = \lambda_P \begin{bmatrix} R_{11} & R_{21} & R_{31} \\ R_{12} & R_{22} & R_{32} \\ R_{13} & R_{23} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_P - X_{CP} \\ Y_P - Y_{CP} \\ Z_P - Z_{CP} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

em que,

x_P, y_P – coordenadas imagem de um ponto P.

c – constante da câmara.

λ_P – constante de proporcionalidade, corresponde a um factor de escala.

R_{11}, \dots, R_{33} – são os coeficientes da matriz de rotação definida pelos três ângulos ω, φ e κ , que transformam o sistema de coordenadas terreno no sistema de coordenadas imagem.

X_P, Y_P, Z_P – são as coordenadas terreno de um ponto P.

X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP} – são as coordenadas terreno do centro de projecção.

Dividindo a primeira equação pela terceira e a segunda pela terceira, o factor de escala é eliminado, resultando nas duas seguintes equações de colinearidade:

$$\begin{aligned} x_P &= -c \frac{(X_P - X_{CP})R_{11} + (Y_P - Y_{CP})R_{12} + (Z_P - Z_{CP})R_{13}}{(X_P - X_{CP})R_{31} + (Y_P - Y_{CP})R_{32} + (Z_P - Z_{CP})R_{33}} \\ y_P &= -c \frac{(X_P - X_{CP})R_{21} + (Y_P - Y_{CP})R_{22} + (Z_P - Z_{CP})R_{23}}{(X_P - X_{CP})R_{31} + (Y_P - Y_{CP})R_{32} + (Z_P - Z_{CP})R_{33}} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Os coeficientes da matriz de rotação expressam-se da seguinte forma:

$$R = R_{\omega\phi\kappa} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{21} & R_{31} \\ R_{12} & R_{22} & R_{32} \\ R_{13} & R_{23} & R_{33} \end{bmatrix} = \quad (1.3)$$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & -\cos \phi \sin \kappa & \sin \phi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \phi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix}$$

1.4. Triangulação Aérea Automática (TAA)

Segundo Redweik [2010] define-se aerotriangulação (AT) como um conjunto de algoritmos matemáticos e estatísticos que, a partir da geometria da fotografia, permitem determinar coordenadas terreno de pontos de apoio em todas as fotografias e orientações espaciais das fotografias, ou dos modelos, a partir das coordenadas terreno de um número reduzido de pontos fotogramétricos (PFs).

A realização da triangulação aérea automática permite reduzir o trabalho manual e a intervenção do operador no processo de aquisição dos pontos homólogos necessários para o cálculo da orientação externa, aumentando a sua produtividade.

A aerotriangulação processa-se segundo dois diferentes princípios, por faixa ou por bloco. Focar-nos-emos apenas na aerotriangulação em bloco, visto o método utilizado neste trabalho ser uma das variantes deste tipo de aerotriangulação.

A aerotriangulação em bloco caracteriza-se pelo princípio de garantir que cada ponto objecto tenha um só conjunto de coordenadas objecto (X,Y,Z), qualquer que seja a faixa, modelos e fotografias onde estes se encontrem. Neste caso basta adquirir as coordenadas dos pontos de apoio em todos os modelos ou fotos do bloco e transformá-las por um modelo matemático que traduza a condição referida.

Existem dois tipos de aerotriangulação em bloco: por modelos independentes e por feixes perspectivos.

A aerotriangulação em bloco por feixes perspectivos, utilizada em aparelhos analíticos e digitais, método utilizado neste estudo, consiste na obtenção da informação do objecto a partir da informação constante na fotografia, anulando a necessidade de operações intermédias como a formação de modelos estereoscópicos. A denominação de feixes perspectivos revela que são considerados os vários raios perspectivos que têm origem

num ponto objecto genérico, que passam por vários centros de projecção e intersectam vários planos imagem nos respectivos pontos imagem em cada uma das fotografias (mínimo duas) onde aparece fotografado.

Os dados de entrada necessários para este tipo de TAA são as coordenadas fotográficas de um conjunto de pontos homólogos detectados automaticamente e de todos os PFs, em todas as fotografias onde aparecem, assim como também as suas coordenadas objecto (terreno). Matematicamente, está-lhe associado o método da projecção central, traduzido pelas equações de colinearidade (Capítulo 1.3.2) entre o ponto imagem, o centro de projecção e o ponto objecto. Os resultados deste método são: para cada foto do bloco seis parâmetros de orientação externa; para cada ponto medido, três coordenadas objecto e parâmetros de calibração (parâmetros adicionais). Todos estes valores são determinados iterativamente de modo a que as discordâncias nos pontos homólogos das várias fotografias e nos PFs sejam mínimas (Método dos Mínimos Quadrados), como apresenta Redweik [2011].

Sendo o método que permite obter os melhores resultados, é o que mais cálculos envolve, de maneira que são sempre necessários restituidores analíticos, digitais ou outros sistemas de medição de coordenadas fotográficas para aquisição dos dados primários. Este método peca apenas por necessitar de valores iniciais para os parâmetros de orientação externa uma vez que se trata de um problema não linear.

1.5. Modelos Digitais de Superfície (MDS)

Os modelos digitais de elevação descrevem o relevo da superfície terrestre, existindo diferentes designações literárias e de *software*, nomeadamente:

- DTM – *Digital Terrain Model* → MDT – Modelo Digital do Terreno
- DSM – *Digital Surface Model* → MDS – Modelo Digital de Superfície
- DHM – *Digital Height Model*, termo genérico para DSM e DTM
- DEM – *Digital Elevation Mode*, termo genérico para DSM e DTM

A diferença entre um MDT e um MDS consiste no facto do primeiro descrever o relevo ao nível do terreno, excluindo edificações ou árvores, enquanto o segundo descreve precisamente o relevo ao nível da superfície terrestre com todas as suas edificações e arvoredo.

É com base em elementos como curvas de nível⁴, perfis (linhas de orientação constante no plano XY e de cota variável), conjuntos de pontos cotados (regular ou irregularmente distribuídos no plano XY) e superfícies contínuas (multifacetada⁵ ou composta por um conjunto de superfícies de curvatura variável limitadas por figuras geométricas regulares no plano XY) que se pode descrever o relevo.

Designa-se Modelo Digital de Elevação (MDE) quando uma função contínua (eq. 1.4) descreve o relevo de uma região, fornecendo um e um só valor de cota para cada ponto com coordenadas planimétricas (X,Y) definidas.

$$Z=f(X,Y) \quad (1.4)$$

A precisão de um MDE (MDT ou MDS) depende de características específicas, designadamente da densidade e distribuição dos pontos adquiridos, do terreno e do método utilizado para a construção da superfície digital [Sequeira, 2006].

Técnicas como a estereofotogrametria⁶, correspondência automática de imagens (processamento digital de imagem), *Laser Scanning* (LiDAR – *Light Detection and Ranging*) e Interferometria de Radar (InSAR) permitem obter os dados primários para gerar um MDE. A correspondência automática de imagens foi o processo utilizado neste projecto. O objectivo passa por determinar pontos homólogos em pares estereoscópicos. Como este operador se baseia apenas na informação radiométrica das imagens, a amostra que se obtém poderá apenas gerar um MDS (representação do relevo pretendida para este trabalho).

Existem dois formatos mais frequentemente utilizados para a estruturação dos dados de um MDT: o formato *Triangular Irregular Net* (TIN) e o formato GRID. No primeiro é

⁴ Linhas de cota constante e orientação variável no plano XY.

⁵ Composta por planos adjacentes de orientação espacial variável (triângulos espaciais).

⁶ Por estereofotogrametria, o operador restitui curvas de nível, perfis ou mede a cota de um conjunto de pontos isolados no modelo estereoscópico do terreno [Redweik, 2011].

considerada uma malha de triângulos com dimensões variáveis, definidas sobre amostras de pontos distribuídos de forma irregular, associadas a algoritmos de interpolação local, constituindo os modelos de triangulação irregular. Trata-se de uma estrutura que se adequa à irregularidade das amostras do terreno, recolhidas pelos métodos topográficos e fotogramétricos convencionais. O segundo formato trata-se de um modelo com distribuição em quadrícula, com espaçamento fixo, constituindo os modelos mais simples de malha regular.

1.6. Ortorrectificação de fotografias aéreas

Segundo Casaca [2005] existem diversas deformações geométricas que estão presentes nas imagens aéreas do terreno, devidas essencialmente ao facto das imagens serem uma projecção central, da atitude da plataforma e da câmara e devido ao relevo do terreno.

Define-se ortofoto como uma representação do pormenor do objecto (terreno) na sua posição planimetricamente correcta e apresentando a mesma densidade de informação de uma fotografia original. A ortofoto obtém-se através da ortorrectificação, ou seja, o processo que produz um resultado igual ao que se obteria no caso de uma projecção ortogonal do terreno, segundo uma direcção vertical.

Na geração de uma ortofoto, tem-se em vista a eliminação de todas as deformações relativas à projecção central das imagens na representação do terreno (Figura 15), de modo a que o produto final apresente uma escala homogénea e possibilite o uso métrico da informação [Casaca et. al, 2005].

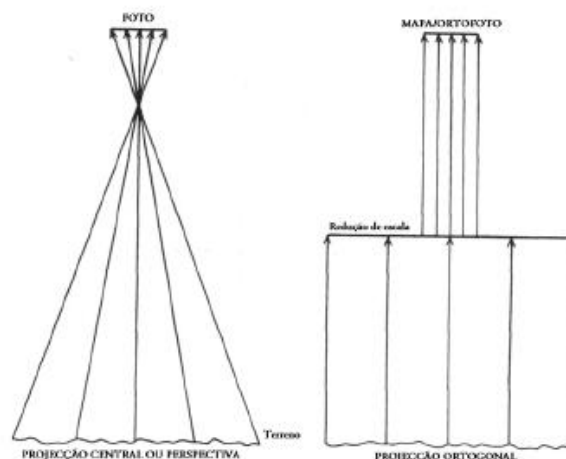


Figura 15 – (esq.) Projeção central; (dir.) Projeção ortogonal [Redweik, 2011].

O modelo matemático, que permite a correcção das deformações da imagem original, depende da geometria de aquisição da imagem e é suportado por um modelo digital de elevação (MDS) [Casaca et al., 2005].

Existem diversos métodos de rectificação: rectificação gráfica, rectificação analítica, rectificação por projecção subjectiva, rectificação óptico-mecânica, rectificação diferencial e rectificação digital. Focar-nos-emos no processo de ortorrectificação digital, aplicado na execução deste estudo.

A ortorrectificação digital consiste em transformar imagens fotográficas, em formato digital, em ortofotos digitais, aplicando de um modo muito preciso e rápido, sucessivamente aos pixéis, o método da rectificação analítica⁷, o qual faz uso das equações de colinearidade. Este processo requer as fotografias aéreas em formato digital, o modelo digital do terreno (MDS) e os parâmetros de orientação interna e externa de cada fotografia (contidos no ficheiro do projecto realizado na aerotriangulação automática).

Existem dois métodos de processamento analítico que podem ser usados para a ortorrectificação digital: o método directo e o método indirecto (Figura 16).

No método directo parte-se de cada pixel da imagem digital, calcula-se a sua posição no MDT (MDS), na imagem rectificada a ser criada, e atribui-se a essa posição o valor de cinzento do pixel original.

Através do método indirecto, parte-se de cada posição na imagem rectificada a ser criada, à qual correspondem coordenadas terreno (X,Y,Z) no MDT/MDS e calcula-se a posição correspondente na imagem digitalizada onde se vai buscar o valor de cinzento, interpolado dos valores dos pixéis vizinhos, a atribuir à posição XY da imagem rectificada.

⁷A rectificação analítica, baseia-se nas condições de colinearidade entre o ponto imagem, o centro de projecção e o ponto objecto, em que o ponto objecto é coincidente com o ponto da carta correspondente assumindo uma determinada cota. Faz-se uso das equações de colinearidade.

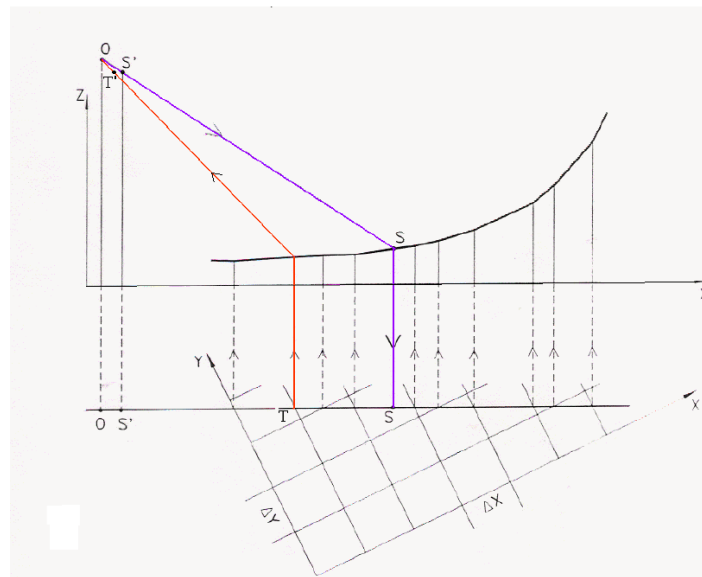


Figura 16 – Ortorrectificação digital: Directa (roxo) e Indirecta (Vermelho) [Redweik,2011].

A utilização do MDS em detrimento do MDT, permite obter o que se designa por ortofoto real, eliminando-se a influência do relevo do terreno na escala da imagem e também os efeitos dos planos verticais rebatidos.

Capítulo 2 – Selecção, Digitalização e Enquadramento dos negativos da zona de estudo

2.1. Selecção dos Negativos da zona de estudo

O estudo em causa usa como base 34 fotografias, neste caso negativos originais do voo realizado em 1949, pelos Serviços Cartográficos do Exército, com a sua câmara aérea *Zeiss® RMK S 1818*, e não pela Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Limitada, como se encontram classificados no arquivo do IGeoE. Este facto é confirmado pelo estudo exaustivo realizado por Marques [2009] acerca da origem de um dos seus subconjuntos de fotografias aéreas.

Os envelopes dos negativos trabalhados tinham inscrição da folha da carta militar 1:25000 a que dizem respeito, assim como o seu identificador (número) e a fiada a que diziam respeito. Os conjuntos de envelopes das diversas fiadas constituintes de uma folha encontravam-se organizados em caixas com o identificador da folha a que pertenciam. Referindo Marques [2009], estas são parte integrante de uma colecção de cerca de 40000 fotografias aéreas identificadas no arquivo como “SPLAL”. Todas as fotografias aéreas apresentam as mesmas características, isto é, formato 18cm x 18cm, distância focal de 204.4mm, em formato analógico sob a forma de negativos. Encontram-se arquivados em envelopes, numa sala com ar condicionado a uma temperatura constante de 18° e humidade relativa do ar de 41%.

A identificação dos negativos que cobriam a área de trabalho foi possível através de um processo de fotointerpretação de elementos mais significativos como estradas, construções, povoações, intersecções de vias, vértices de muros, entre outros. Tornou-se num processo objectivo, uma vez que se tinham em mãos cartas cujas primeiras edições (Tabela 1) já apresentavam a área inundada pela construção da barragem da Venda Nova.

Tabela 1 - Informação acerca das edições das folhas.

Identificação da Folha	1ª Edição	2ª Edição
44 – Ruivães (Vieira do Minho)	1953	1997
45 – Alturas do Barroso (Boticas)	1952	1997

Limitou-se a área de trabalho a quatro fiadas (duas fiadas orientadas de Norte-Sul e duas fiadas Sul-Norte), três fiadas cobrindo a margem direita da folha da carta militar 1:25000, 44 - Ruivães (Vieira do Minho) – (Figura 17), e uma da folha da carta militar 1:25000, 45 – Alturas do Barroso (Boticas) – (Figura 18), num total de trinta e quatro negativos (vinte e quatro da folha 44 e dez da folha 45). A Tabela 2 mostra a informação referida anteriormente, especificada para cada fiada.

Tabela 2 – Informação acerca de cada folha da carta militar, respectivas fiadas, sentido e número de fotos.

ID Fiada	Folha	Sentido	Nº Fotos
G	44	S-N	8
H	44	N-S	9
I	44	S-N	7
A	45	N-S	10

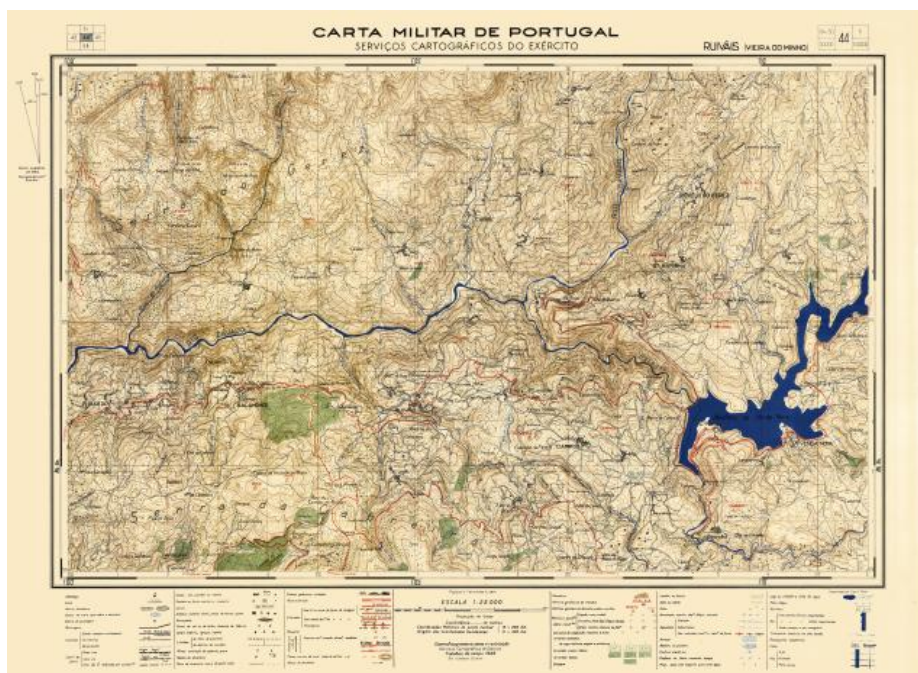


Figura 17 – Folha 44 – Ruivães (Vieira do Minho), da carta militar Portuguesa 1:25000, edição de 1953.

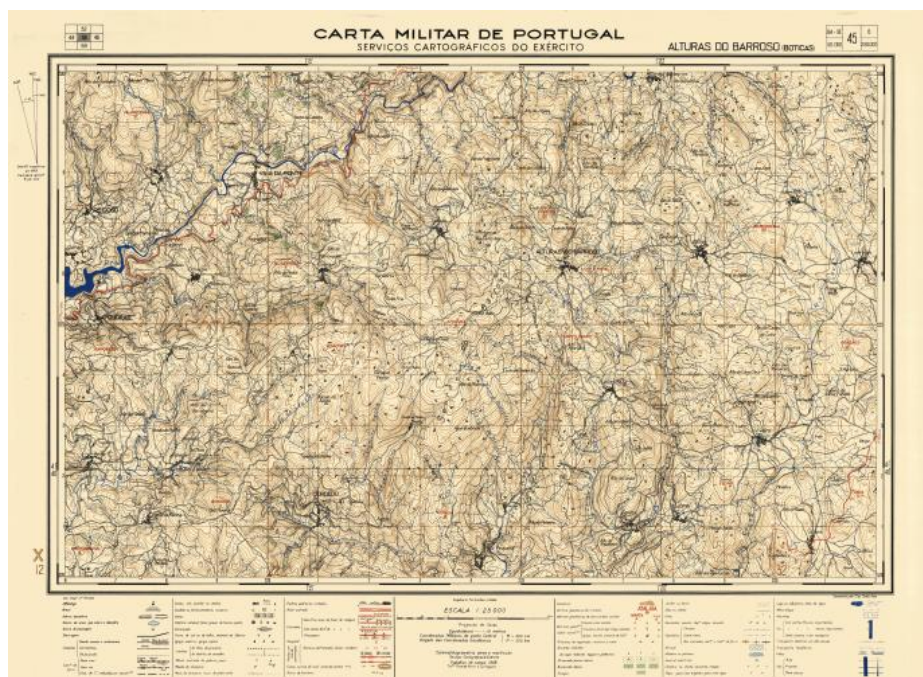


Figura 18 – Folha 45 – Alturas do Barroso (Boticas), da carta militar Portuguesa 1:25000, edição de 1952.

2.2. Digitalização

A realização do projecto fotogramétrico com base em métodos automáticos requer que a informação existente sobre o terreno, neste caso as fotografias aéreas em formato analógico, seja convertida para formato digital. A digitalização permite satisfazer este principal requisito. Para tal utilizou-se o *scanner* fotogramétrico *Photoscan TD* da *Zeiss/Intergraph* (Figura 19) disponível no IGeoE.



Figura 19 – Photoscan TD da Zeiss/Intergraph [Marques, 2009].

Genericamente, este equipamento possui as seguintes características [Estereofoto, s.d.]:

- Área rasterizável de 250mm x 275 mm;
- Precisão geométrica de 2 micron por eixo, Root Mean Square (RMS);
- Precisão geométrica de 1 micron por eixo, RMS;
- Resolução óptica mínima de 7 micron;
- Sensor *Charge-Coupled Device* (CCD) tri-linear, totalmente compensado;
- Sistema óptico Zeiss;
- Sistema de compressão/descompressão JPEG (*Joint Photographic Experts Group*);
- Radiometria; 10 Bit/canal, com modo de operação sobre transmissividade, densidade e ajustamentos GAMA num intervalo de 0.1 a 2.0 OD;
- Dados de saída; 8 Bit P/B ou 24 Bit COR com os formatos de exportação TIFF (*Tagged Image File Format*) *tilted*, *Intergraph type 65/2 tiled* ou JPEG;

No processo de configuração da digitalização (Figura 20), usou-se uma configuração genérica, já criada pelo instituto, denominada “FormatoTIF_pb.par”, preparada para obter imagens em formato TIFF a preto e branco, e, parâmetros relativos à câmara, restando apenas definir o tipo de filme utilizado (configurado pelo IGeoE).

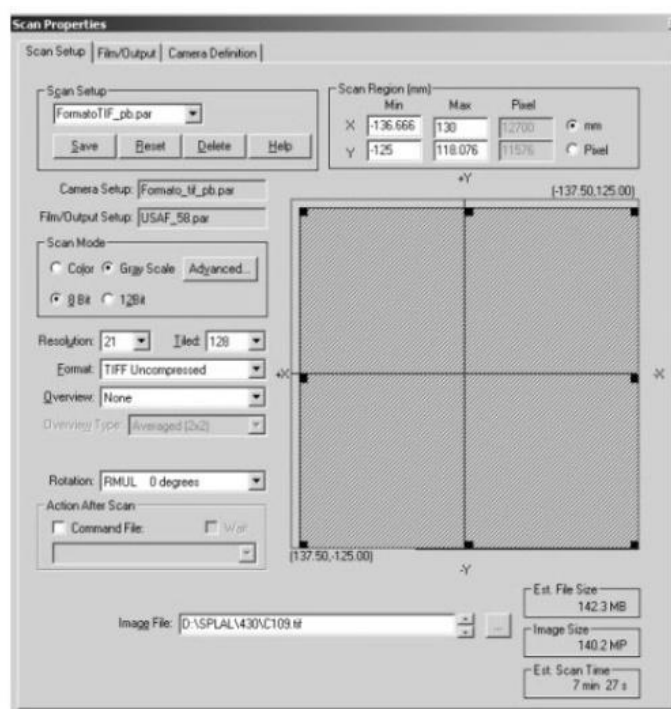


Figura 20 – Processo de configuração da digitalização.

Parametrizou-se o modo de execução da digitalização (*Scan Mode*) onde se podem configurar os seguintes campos: a cores ou a preto e branco e a resolução radiométrica dos ficheiros de saída. Seleccionou-se o modo de digitalização adequado às imagens em níveis de cinzento e uma resolução radiométrica⁸ de 8 bits, indicando 256 níveis de cinzento.

A resolução espacial (*Resolution*) é o tamanho do pixel, em microns (μm), da imagem digitalizada, assim quanto maior for a resolução (menor dimensão do pixel) mais pequena será a área representada por cada pixel. O sistema permite optar por um de sete valores de resolução: 7, 14, 21, 28, 56, 112 e 224 microns ou um valor inteiro do intervalo 7 – 224 microns, em que 7 microns é o valor de resolução máxima e 224 microns o indicativo de uma resolução baixa. Ao utilizar-se o valor de resolução máxima, o tempo de digitalização iria aumentar bastante assim como o tamanho do ficheiro resultante, podendo causar problemas no armazenamento, no processamento e no manuseamento das imagens resultantes. Sendo este um factor que não favoreceria a melhor gestão do tempo de trabalho, e de armazenamento, optou-se por um valor intermédio de resolução, 21 microns.

A imagem pode ser armazenada em três diferentes formatos. Optou-se pelo formato TIFF *uncompressed* visto que era o formato mais comumente utilizado e aconselhado pelos colaboradores do IGeoE.

A área de digitalização foi mantida no seu *standard*, isto é, 250mm x 275mm, garantindo deste modo que todo o negativo era digitalizado mesmo que se deslocasse aquando o fecho da tampa do *scanner*. Esta componente também poderia ser editada e configurada para o tamanho correcto dos negativos em uso, contudo correr-se-ia o risco da imagem resultante se apresentar cortada, o que levaria à repetição do processo (Figura 21).

⁸ A resolução radiométrica é dada pelo número de valores digitais representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de valores, maior é a resolução radiométrica. O número de níveis de cinza é comumente expresso em função do número de bits necessários para armazenar os números digitais. O valor de bits é sempre uma potência de 2 [em: <http://www.cartografia.eng.br/artigos/senso02.php>].

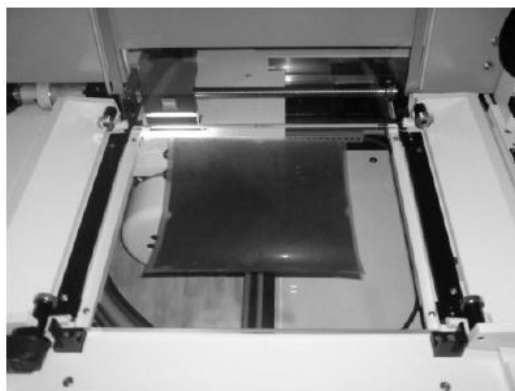


Figura 21 – Posicionamento do negativo no *scanner* [Marques, 2009].

Definiu-se o directório de trabalho onde as imagens iriam ser armazenadas e, beneficiando a organização do trabalho e do processo de digitalização dos 34 negativos, atribuiu-se uma denominação genérica, “FF_Fiada_nº-de-negativo”, a cada ficheiro resultante do processo de digitalização, em que: “FF” representa o número da folha a que o negativo diz respeito; “Fiada” identifica a fiada a que o negativo pertence e o “nº-de-negativo” identifica o negativo numericamente, conforme arquivado (ex: “45_A_35” - negativo nº 35, da fiada A que diz respeito a folha 45 – “Alturas do Barroso (Boticas)”).

O sistema do *Photoscan TD* permite também definir quais os parâmetros de saída das imagens digitalizadas, mais concretamente, a definição do tipo de filme de entrada e o tipo de polaridade de saída. Polaridade, neste âmbito, consiste na propriedade do filme utilizado na captação do terreno, se positivo (*positive*) ou negativo (*negative*). Em posse, tinham-se os negativos identificados como “SPLAL”. Considera-se que o tipo de filme é de negativos e como o resultado que se pretende obter é o inverso dessas imagens, considerou-se que os ficheiros de saída seriam os positivos das imagens digitalizadas, como mostra a Figura 22.

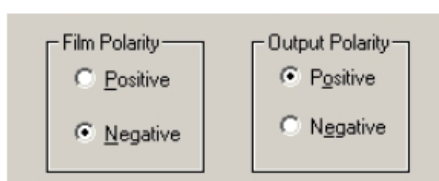


Figura 22 – Selecção da Polaridade de entrada e de saída [Marques, 2009].

Os negativos foram digitalizados numa posição que apresentaria a identificação do negativo no canto superior esquerdo e a informação da constante da câmara no canto superior direito, acrescentando outra forma de melhor identificação do negativo, caso ocorresse algum erro na denominação do ficheiro de saída. A Figura 23 demonstra como foi colocado o negativo no *scanner*.

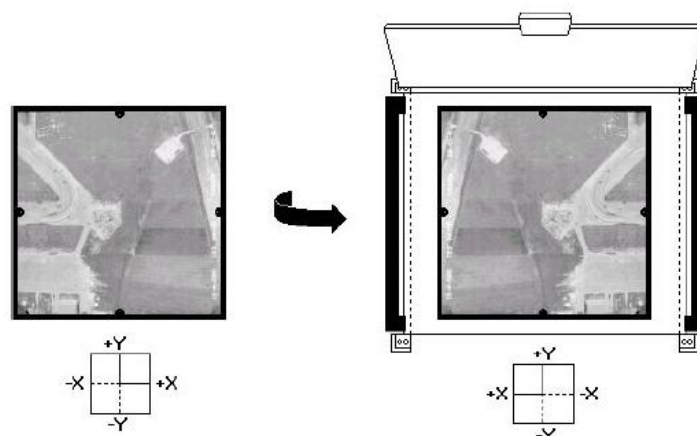


Figura 23 – Orientação correcta do negativo no scanner [Intergraph, 2009].

Foram digitalizadas trinta e quatro fotografias aéreas, o que se resume em cerca de 5.6 horas de trabalho, 10 minutos por fotografia (tendo em conta o tempo despendido a abrir o *scanner* e a preparar a próxima digitalização), processo este que se tornou algo moroso.

Como se considerou a área de digitalização maior do que a dimensão dos negativos, as imagens digitalizadas resultantes continham largas margens sem informação. Não dispondo de *software* específico para as eliminar, adoptou-se o *Arcgis*®. Foram seguidos os seguintes passos para realizar este processo:

1. Carregar cada imagem resultante do processo de digitalização;
2. Desenhar um rectângulo sobre a área da fotografia, de maneira a ficarem margens sem informação no exterior;
3. Efectuar “*Convert graphics to features*” de cada área definida e atribuir a cada uma a identificação que a faça corresponder à fotografia aérea em questão (Figura 24);

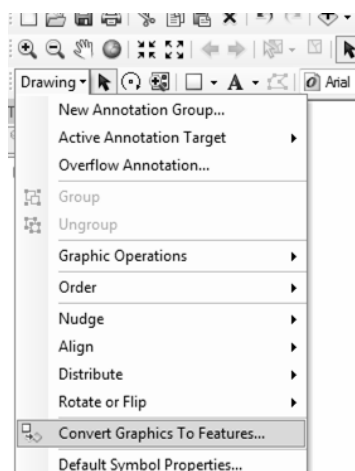


Figura 24 – Ferramenta “*Convert Graphics to Features*”.

4. Usar a ferramenta “*Extraction by Mask*” (Figura 25), extraíndo da imagem apenas a área que se pretende, eliminando o que não interessa;

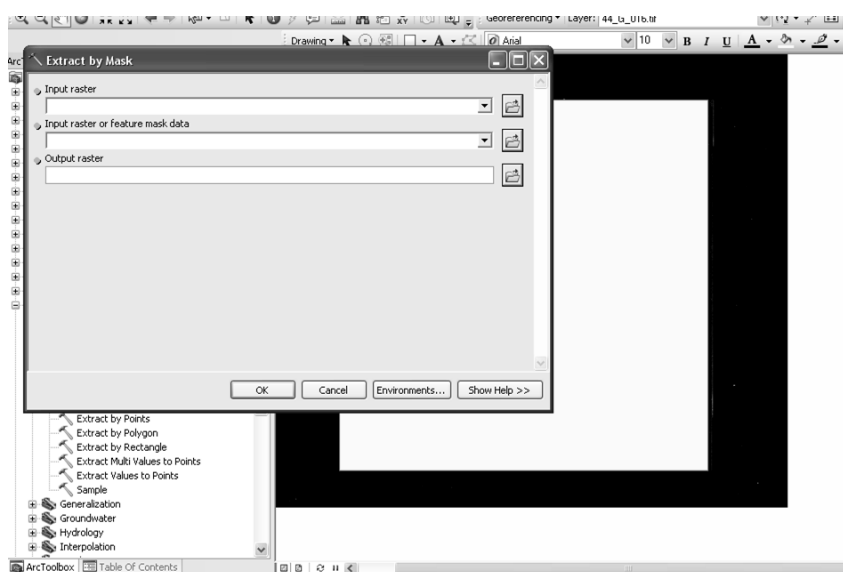


Figura 25 – Comando Extract by mask no Arcgis®.

5. Realizar os quatro passos anteriores para cada uma das imagens resultantes do processo de digitalização.

2.3. Enquadramento físico da área de trabalho

De maneira a ter uma perspectiva visual de como estavam projectadas no terreno as fotografias aéreas das quatro fiadas que cobrem a área de estudo e como forma para obter valores aproximados para os parâmetros de orientação externa necessários para a posterior aerotriangulação, efectuou-se um enquadramento em ambiente *Arcgis*® com todas as fotos resultantes do processo de digitalização e as duas cartas onde estas se encontram.

Inicialmente, efectuou-se a georreferenciação das cartas antigas em formato digital, isto é, projectou-se sobre o sistema de coordenadas em que foram geradas, através das coordenadas dos quatro cantos da folha (indicadas pela quadricula), actuando como pontos de controlo.

O sistema de coordenadas em que se obtiveram as primeiras edições das cartas 1:25000 foi o sistema *Hayford Gauss Militar*. Em ambiente *Arcgis*® adoptou-se o sistema equivalente *Lisboa_Hayford_Gauss_IGeoE* com as seguintes características [Catalão, 2010]:

- Superfície de referência: Elipsóide de Hayford;
- Projecção: Conforme de Gauss-Kruger;
- Ponto de fixação do datum em Lisboa e como origem das coordenadas cartográficas um ponto situado a oeste do Cabo de S. Vicente, com uma translacção de 200 Km Oeste e 300 Km a Sul, da origem anteriormente localizada no ponto central, no vértice geodésico de Melriça (centro geométrico do território continental).

A georreferenciação foi efectuada em ambiente *Arcgis*®, uma vez que este programa contém a ferramenta necessária para conseguir bons e rápidos resultados através da marcação de pontos de controlo, neste caso os quatro cantos da quadrícula das cartas. Procurou-se obter resíduos inferiores ao erro de graficismo⁹, que para uma carta 1:25000 corresponde a cinco metros ($25000m \times 0.0002m = 5m$). As Figura 26 e 27

⁹ Erro máximo admissível na elaboração de desenho topográfico para lançamento de pontos e traçados de linhas, com valor de 0,2 mm, que equivale a duas vezes a acuidade visual. (<http://pt.scribd.com/doc/57377867/11/Erro-de-graficismo-eg>)

apresentam a georreferenciação de ambas as cartas antigas e seus respectivos pontos de controlo com valor dos resíduos associados.

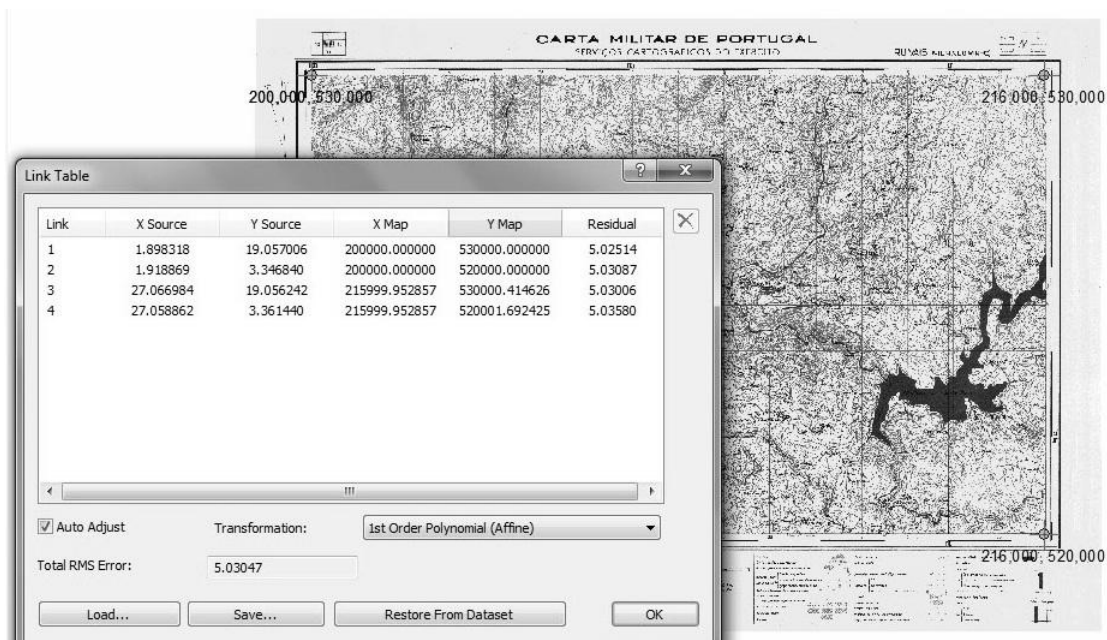


Figura 26 – Georreferenciação da folha 44 e respectiva *link table*.

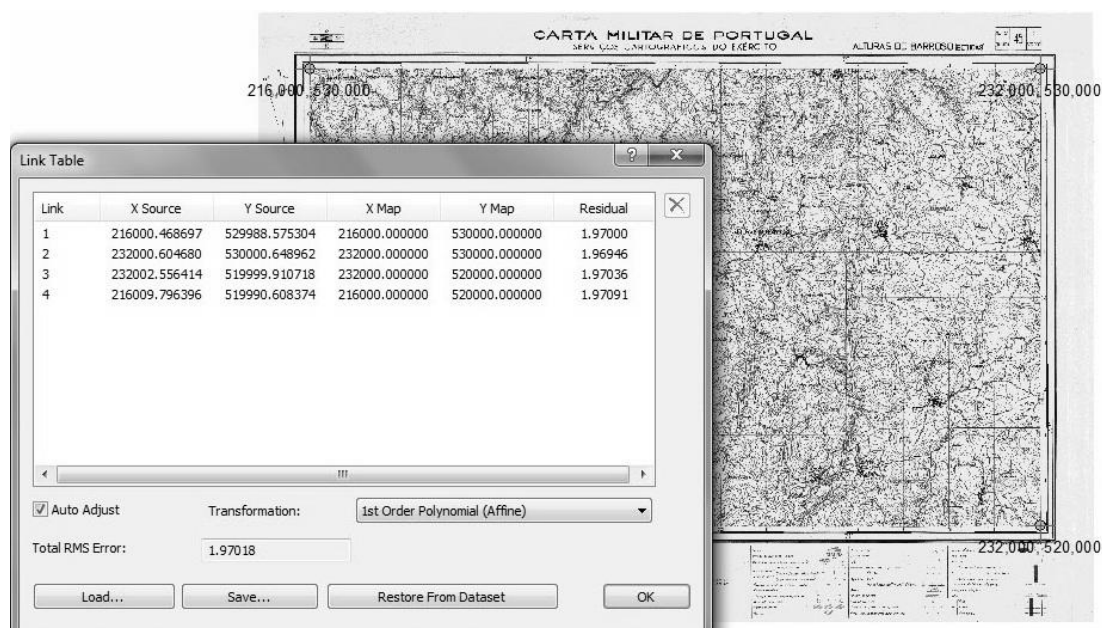


Figura 27 – Georreferenciação da folha 45 e respectiva *link table*.

O próximo passo da execução do enquadramento dos negativos e das fiadas prende-se com os cálculos necessários para a determinação da área ocupada por cada negativo no terreno. Os resultados desses cálculos serão posteriormente necessários como dados de entrada no processo da aerotriangulação automática.

Foram calculadas, na totalidade, quatro grandezas: a escala média aproximada de cada fiada; a altura média de voo para cada fiada; a área do negativo no terreno, tendo em linha de conta a sua forma quadrangular e o cálculo do *Ground Sample distance* (GSD) - dimensão do pixel no terreno.

O cálculo da escala média aproximada de cada fiada inclui a realização de medições de distâncias sobre os negativos em formato digital e a medição do troço equivalente sobre a carta. É possível efectuar medições directamente sobre a fotografia aérea em formato digital visto que se posiciona no ponto (0,0) do sistema de coordenadas usado ao ser importada para o Arcgis® e atribuindo-lhe as suas dimensões reais (0.18m x 0.18m), através da georreferenciação. Deste modo, foram escolhidas duas ou três fotos por fiada para se medir um troço possível de identificar e medir na carta correspondente (Figura 28).

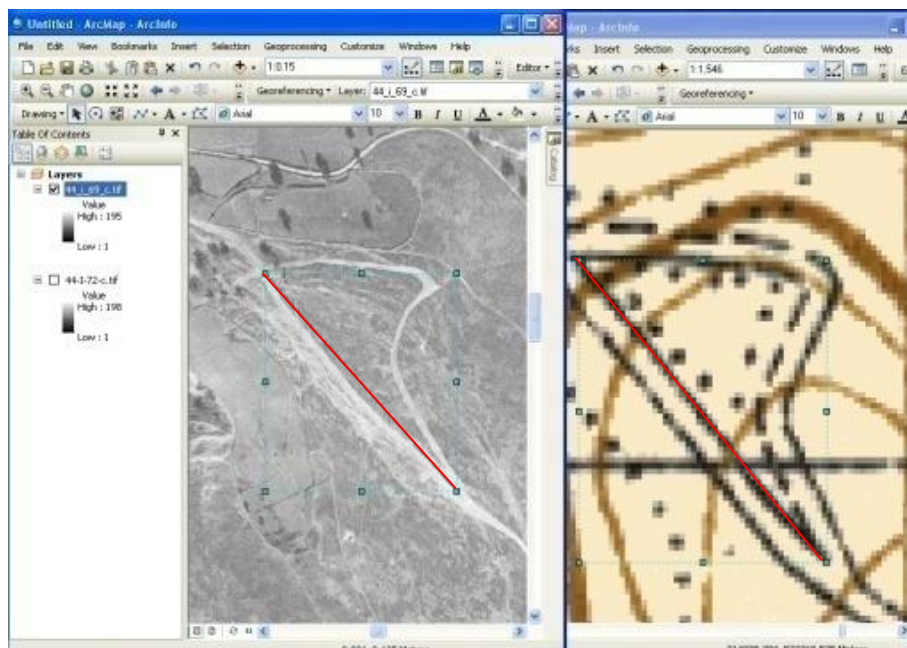


Figura 28 – Medição de um troço na fotografia e o correspondente na carta.

Fez-se uso da Equação 2.1:

$$E_m = \frac{d}{D} \quad (2.1)$$

em que (d) representa a distância medida na foto em metros e (D) representa a distância medida na carta em metros.

Aplicando o inverso desta fórmula, em todas as fiadas, para as fotos seleccionadas, obtiveram-se os resultados para a fiada G da folha 44, representados na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do módulo de escala média da fiada G.

Fiada	Negativo	D _{negativo} (m)	D _{carta} (m)	Escala média
G	15	0.008	151.563	18945.375
	18	0.003	44.332	14777.333
	22	0.013	269.915	20762.692
			Médias	18161.800

A segunda grandeza calculada foi a altura média de voo para cada fiada. Com base na Equação 2.2 [Marques, 2009]

$$E_m = \frac{1}{M} = \frac{c}{H_m} \quad (2.2)$$

em que (M) representa o módulo de escala da foto, (c) a constante da câmara em metros e (H_m) a altitude média do voo para cada foto escolhida. Da fórmula anterior deduz-se o (H_m) da seguinte forma:

$$\frac{1}{M} = \frac{c}{H_m} \Leftrightarrow H_m = c \times M$$

A Tabela 4 apresenta o resultado para as três fotos seleccionadas da fiada G da folha 44.

Tabela 4 - Média da altitude de voo para a fiada G.

Fiada	Negativo	Altura de voo Média (m)
G	15	3872.435
	18	3020.487
	22	4243.894
	Média	3712.272

Posteriormente, calculou-se a grandeza de maior importância neste processo de criação do enquadramento, a dimensão dos negativos no terreno. Considerando-se implicitamente que o formato do negativo representa um quadrado regular no terreno, o

seu cálculo é efectuado multiplicando a dimensão do lado da fotografia aérea (0.18 m) pelo módulo de escala médio da fiada, como apresenta a equação 2.3.

$$lado = 0.18 \times M_{médio_fiada} \quad (2.3)$$

Para o caso da fiada G, o valor correspondente no terreno para o lado da fotografia foi de 3269.124 metros (lado = 0.18 m x 18161).

O último cálculo efectuado para todas as fiadas foi o GSD, grandeza que poderá ser posteriormente indicativa da dimensão do pixel métrico (21 microns) no terreno. Apenas foi necessário aplicar a equação que demonstra este cálculo (Eq. 2.4).

$$GSD = pixel\ métrico \times M_{médio_fiada} \quad (2.4)$$

Os cálculos explicados anteriormente apenas para a fiada G, foram realizados para as três fiadas restantes, apresentados no Anexo D. A Tabela 5 resume as dimensões obtidas para cada conjunto de fotografias constituintes das quatro fiadas da área de estudo.

Tabela 5 - Dimensões relativas ao terreno dos negativos das respectivas fiadas.

ID Fiadas_Folha	Dimensões do Quadrado no terreno (m)
G_44	3269.124m x 3269.124m
H_44	3317.349m x 3317.349m
I_44	2914.452m x 2914.452m
A_45	3158.684m x 3158.684m

Findo este processo, chegou-se à etapa pretendida, isto é, determinou-se a dimensão das fotografias aéreas no terreno (Figura 29), permitindo completar o processo do enquadramento das fotografias aéreas sobre a base cartográfica existente.

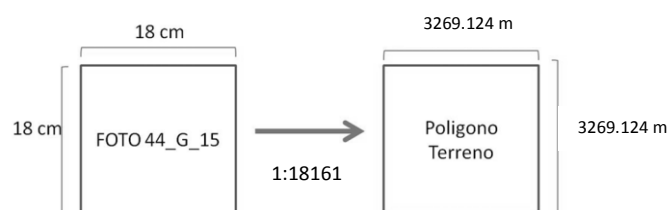


Figura 29 – Tamanho do negativo e sua correspondência no terreno (Fiada G).

Com o conhecimento das dimensões de cada foto no terreno para as diferentes fiadas, foram criados polígonos, no *software Arcgis®*, para cada uma das fotos que constituíam as diferentes fiadas. Através de um processo de fotointerpretação, e com alguma sensibilidade, posicionou-se interactivamente cada polígono, na localização coincidente com a realidade captada na fotografia aérea, sobre a base cartográfica já georreferenciada. Obtiveram-se assim dois enquadramentos, um para a folha 44 (Figura 30) e outro para folha 45 (Figura 31) da carta militar 1:25000.

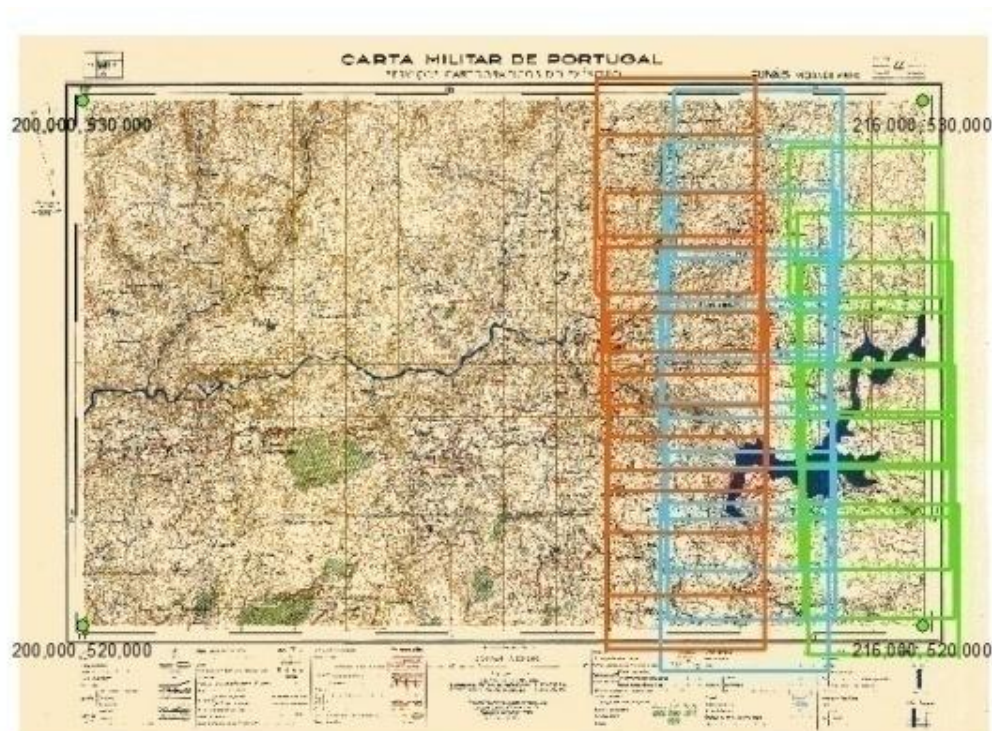


Figura 30 – Enquadramento dos negativos e das fiadas sobre a folha 44.

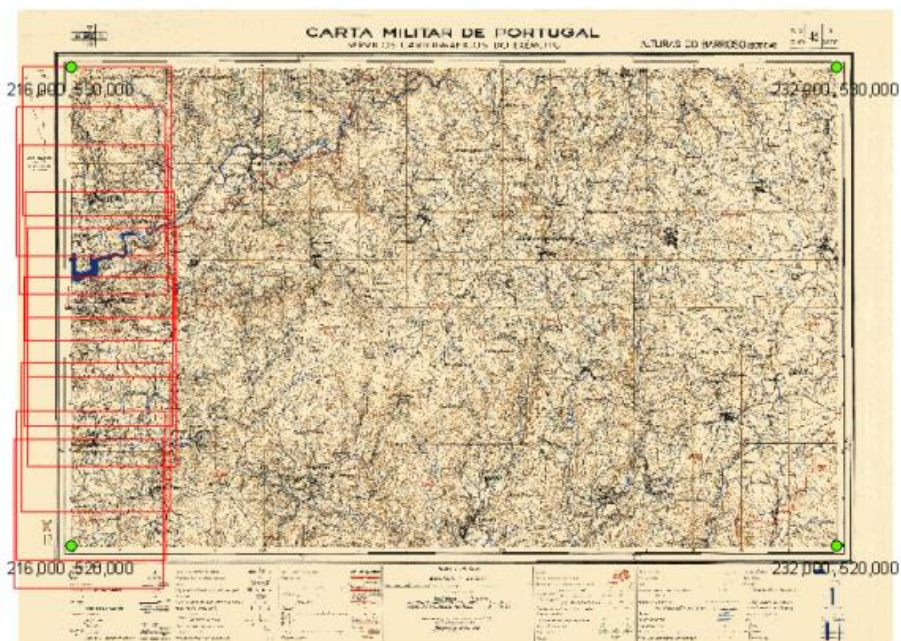


Figura 31 – Enquadramento dos negativos da fiada A para folha 45.

O enquadramento final fez-se integrando os dois ficheiros obtidos anteriormente, resultando no ficheiro apresentado na Figura 32.

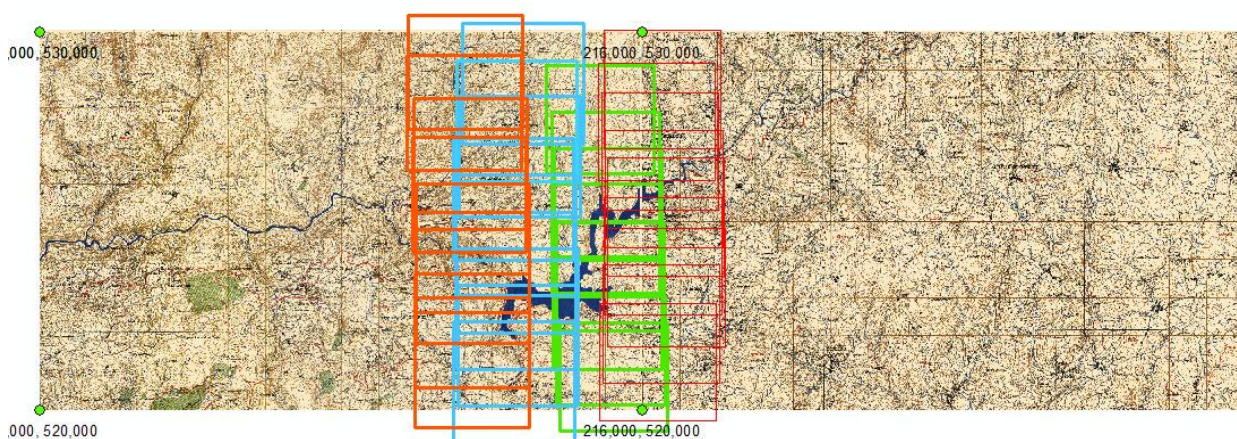


Figura 32 – Enquadramento Geral (quatro fiadas e duas folhas).

Registaram-se os centros de projecção de cada polígono (Anexo E), informação referente ao centróide do polígono de cada foto, necessários para o processo de aerotriangulação automática como dados de entrada aproximados.

Capítulo 3 - Obtenção do apoio à Triangulação Aérea Automática

3.1. Definição da localização dos pontos de controlo (PFs)

Esta é uma fase com elevado grau de importância, uma vez que passa pela determinação da localização do apoio fotogramétrico do projecto. O apoio fotogramétrico é constituído por um conjunto de pontos com coordenadas objecto (terreno) ou pelos elementos de orientação espacial das fotografias (orientação externa) ou dos modelos estereoscópicos¹⁰ (orientação absoluta). Os pontos deverão ser facilmente identificáveis nas fotografias e, servem para relacionar fotos ou modelos entre si mas também para efectuar a ligação entre o objecto (terreno) e a cobertura fotográfica aérea.

Existem três tipos de pontos de apoio:

- Pontos fotogramétricos – necessário saber as suas coordenadas objecto antes da aerotriangulação automática, determinadas em campo;
- Pontos de passagem e pontos de ligação, cujas coordenadas são obtidas indirectamente em gabinete através do processo de aerotriangulação.

Abordaremos apenas os pontos fotogramétricos (PFs), visto que está em causa a definição da sua distribuição pelo bloco de trabalho e a sua melhor localização.

Visto que se trata de uma cobertura fotográfica constituída por um conjunto de fotos, integradas num número de fiadas e respectivas sobreposições, a distribuição dos pontos de apoio deve satisfazer a condição de que, cada ponto possa ser identificado em mais do que uma fotografia ao mesmo tempo. Deste modo, garante-se uma geometria mais estável do bloco, conduzindo a uma solução mais precisa.

Segundo Redweik [2010] existem regras pré-definidas para planear a localização de todos os pontos de apoio, para uma área aproximadamente rectangular. No caso de estudo não se cingiu rigorosamente a estas regras, decidindo-se que a distribuição do apoio no terreno seria similar à apresentada na Figura 33.

¹⁰ Modelos estereoscópicos – modelo tridimensional do terreno a partir da reconstituição da geometria de aquisição das imagens de um par estereocópico efectuada nos estereorrestituidores fotogramétricos, ou simplesmente restituidores [Casaca et al., 2005].

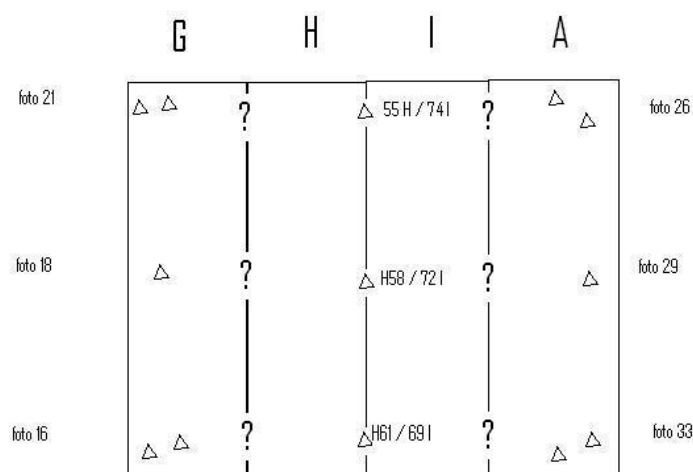


Figura 33 – Planeamento do esquema de distribuição dos PFs pela área de estudo.

Este tipo de pontos devem ser facilmente diferenciáveis e identificáveis em todas as fotos onde aparecem, garantindo uma boa precisão na medição das suas coordenadas fotográficas [Redweik, 2010].

Os PFs podem ser naturais ou pré-sinalizados. Não existem registos de, em 1949, aquando a realização do voo pelos Serviços Cartográficos do Exército, terem sido pré-sinalizados PFs na superfície terrestre. Assim, os PFs que compuseram este trabalho são naturais, ou seja, são pontos materializados por objectos existentes na paisagem.

Actualmente, a localização dos PFs e de qualquer outro ponto de apoio faz-se com o apoio de um computador, elaborando-se fichas (Anexo F) com excertos e ampliações das zonas de localização do ponto nas imagens. Existe também *software* que permite efectuar este planeamento, antes da deslocação ao campo, dispondo de conjuntos de imagens de satélites encadeadas, simulando a superfície terrestre, caso do *Google Earth®*.

Tentou-se, neste trabalho, obedecer aos critérios pré-estabelecidos para a definição de bons pontos fotogramétricos, isto é, terem de ser pormenores no solo, ou junto a este, com forma geométrica bem definida, contrastante com o meio envolvente e permanente. Por vezes as características morfológicas, de construção e preservação das construções integradas na zona de estudo não o permitiram. Optou-se, na maioria das vezes, por vértices de beirados, muros com ângulos bem definidos ou até alguns com uma ligeira curvatura.

Realizou-se um estudo prévio da área de trabalho de modo a elaborar um esquema de disposição dos PFs sobre a área de trabalho. A definição da localização dos PFs no terreno respeitou as inalterações na configuração do terreno, ou seja, os locais definidos para PFs actualmente também existiriam aquando da realização do voo em 1949. Apenas assim se pode efectuar a ligação entre o passado e o presente, de modo a recuperar a paisagem anterior à construção da barragem. Respeitando os critérios acima mencionados, definiram-se as posições estratégicas para os PFs segundo o esquema apresentado pela Figura 34.

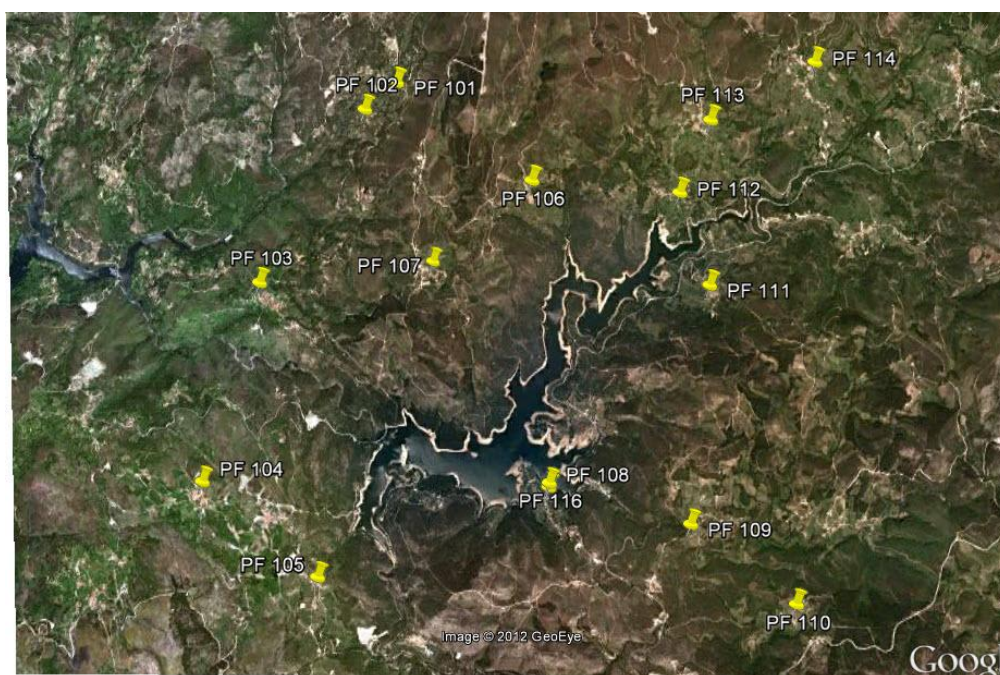


Figura 34 – Distribuição final dos PFs sobre o terreno.

Extraiu-se a informação das coordenadas geodésicas de cada um dos PFs, permitindo chegar-se de modo mais rápido a cada um destes pontos, caso introduzidos num GPS móvel.

3.2. Coordenação dos pontos fotogramétricos no terreno

Durante a realização deste trabalho, foi preponderante o trabalho de campo. Foi obrigatória a ida ao terreno para coordenação de PFs definidos no Capítulo 3.1, de modo a criar o apoio fotogramétrico para todo o bloco de trabalho. A campanha teve a duração de aproximadamente três dias, 9, 10 e 11 do mês de Março do ano decorrente.

O planeamento desta campanha tornou-se essencial, pelo que entre deslocações, paragens para refeições e coordenação dos pontos foram necessárias aproximadamente 28 horas para efectuar o levantamento de todos os pontos pretendidos.

Na totalidade coordenaram-se 43 PFs, 15 na zona da barragem da Venda Nova e os restantes 28 na zona da barragem do Alto Rabagão, embora esta segunda não se encontre no âmbito desta dissertação (Figura 35).

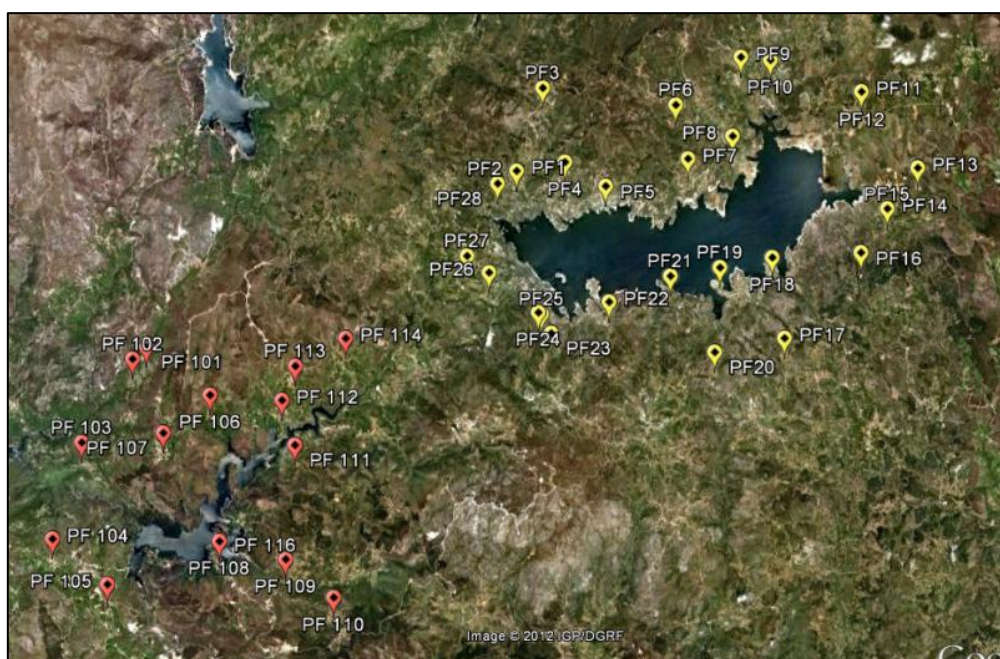


Figura 35 – Distribuição do conjunto de PFs coordenados durante a campanha efectuada.

A coordenação dos PFs no terreno foi realizada com um equipamento da empresa *Leica*, designado por *Leica GPS 1200*. Configurou-se o equipamento para dois métodos de observação: rápido-estático e *Real Time Kinematics* (RTK). Optou-se preferencialmente pelo método RTK quando a rede telefónica permitia a ligação ao servidor de modo a receber as correcções diferenciais.

Em alternativa a este método, ou seja, quando a rede móvel de telecomunicações não existia, não sendo possível receber as correcções diferenciais por GPRS (*General Packet Radio Service*), recorreu-se ao método de observação Rápido-estático, que corresponde a uma sessão estática de curta duração (~10 minutos), sendo as coordenadas de cada ponto obtidas em pós-processamento, recorrendo a ficheiros de observação da estação de referência virtual mais próxima, neste caso, a de Chaves (Anexo G).

A estação de referência de Chaves, faz parte da 3ª fase do dispositivo da rede SERVIR que consistiu na substituição a Julho de 2008, de seis estações GPS por GNSS (*Global Navigation Satellite System*) na área de Lisboa e no alargamento da referida rede quer ao norte do país (Povoa de Varzim, Braga, Chaves), quer ao sul (Sagres, Faro e Tavira) [IGeoE,2008].

O projecto SERVIR (Figura 36) surgiu devido ao esforço quer de meios humanos, materiais e logísticos para obviar dificuldades encontradas na realização do apoio topográfico e do tempo consumido, por parte das equipas topográficas do IGeoE, utilizando a tradicional metodologia RTK, para o apoio topográfico em WGS84 [Afonso,2010].

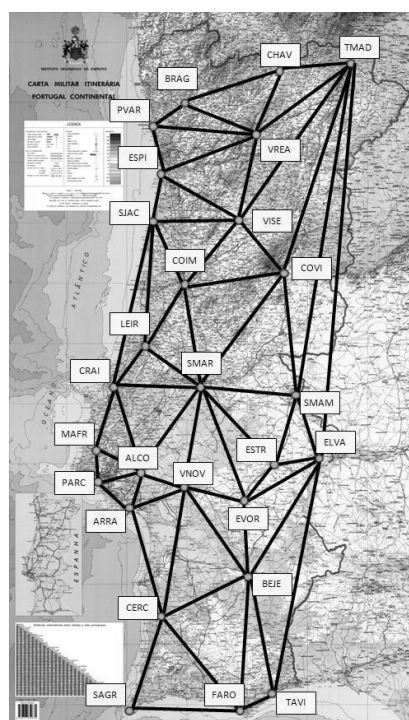


Figura 36 – Distribuição das estações de referência da rede SERVIR pelo Continente [Webserver SERVIR].

Este conceito baseia-se numa rede de estações de referência permanentes, ou *Virtual Reference Station* (VRS), ligadas entre si através de uma infraestrutura de comunicações com o centro de controlo, onde os dados das estações de referência são monitorizados permanentemente. Segundo Afonso [2010] a comunicação com a rede SERVIR pode ser efectuada por diferentes vias, nomeadamente: Rádio; GSM; GPRS – utiliza o protocolo *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP); *hypertext transfer protocol* (http) que permite aos utilizadores efectuarem a transferência de dados RINEX (*Receiver INdependent EXchange format*) (Figura 37); *File transfer protocol* (FTP) para transferência de grandes quantidades de dados.



Figura 37 – Página da internet do WebServer da SERVIR.

3.2.1. Pós-processamento dos pontos que não foram coordenados por RTK

Realizou-se a etapa de pós-processamento no *software Leica Geo Office Combined*, nas instalações do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, visto possuírem a licença necessária para efectuar o processamento.

Este processo resume-se aos seguintes passos:

- Criação de um novo projecto (Figura 38) definindo especificamente o sistema de coordenadas em que os dados serão processados, neste caso ETRS89;

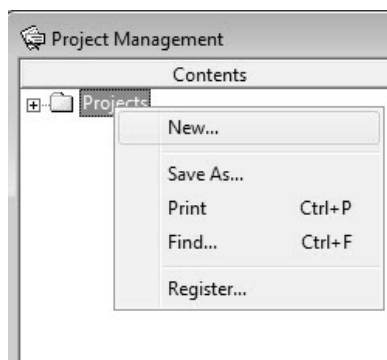


Figura 38 – Criação de um novo projecto no LGO.

- Importação de dados para o projecto, presentes no dispositivo GPS utilizado para fazer a coordenação dos pontos e dos ficheiros de observação RINEX, para o período de tempo definido (3 dias) relativos à estação de referência virtual de Chaves;
- Definição da estação de referência (*Reference*) e do móvel (*Rover*). Atribuiu-se “*rover*” a todos os pontos que foram obtidos no método de posicionamento rápido-estático e “*reference*” à estação de referência virtual de Chaves;
- Verificação sobre a coerência entre os dados relativos à antena utilizada e a realidade;
- Processamento sem efemérides precisas (questão apenas verificada, e não corrigida, depois do processo de aerotriangulação automática) (Figura 39);

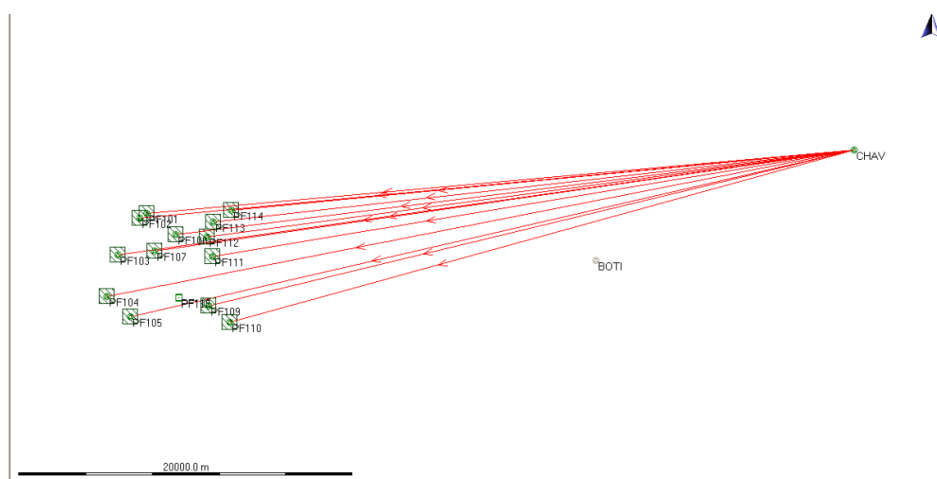


Figura 39 – Processamento dos pontos em relação à estação de referência (Chaves).

- Verificação dos resultados, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Coordenadas geodésicas dos PFs obtidas após processamento.

ID	phi (° N)	lambda (° W)	h (m)	Posn. Quality (m)	Método de Posicionamento
101	41° 43' 04.42219"	7° 58' 51.99466"	650.471	0.087	RE
102	41° 42' 54.28679"	7° 59' 10.11190"	582.095	0.295	RE
103	41° 41' 43.15856"	8° 00' 07.98843"	685.108	0.641	RE
104	41° 40' 22.31322"	8° 00' 36.28259"	879.014	0.087	RE
105	41° 39' 43.96265"	7° 59' 33.80232"	912.453	0.531	RE
106	41° 42' 23.93529"	7° 57' 38.21023"	862.834	0.089	RE
107	41° 41' 51.65208"	7° 58' 31.76466"	859.495	0.087	RE
108	41° 40' 19.90136"	7° 57' 28.84683"	802.315	0.015	RTK
109	41° 40' 05.10512"	7° 56' 12.69871"	896.037	0.087	RE
110	41° 39' 34.04110"	7° 55' 17.21855"	985.631	0.086	RE
111	41° 41' 41.51085"	7° 56' 01.96029"	819.439	0.089	RE
112	41° 42' 19.40810"	7° 56' 17.56398"	775.587	0.091	RE
113	41° 42' 48.35460"	7° 56' 01.36313"	873.185	0.635	RE
114	41° 43' 10.19371"	7° 55' 13.07710"	852.635	0.102	RE
116	41° 40' 21.57217"	7° 57' 28.64167"	800.508	0.013	RTK

3.2.2. Transformação das coordenadas geodésicas (ETRS89) dos PFs para coordenadas cartográficas (ETRS89_PT_TM06)

A próxima fase do projecto, implica que os PFs sejam introduzidos com coordenadas cartográficas. Para tal, com o auxílio da aplicação Transcoord Pro®, disponibilizada gratuitamente no site (<http://www.igeo.pt/produtos/Geodesia/transcoord.htm>) do Instituto Geográfico Português (IGP), realizou-se a referida transformação.

Segundo os seus criadores, esta aplicação permite: a transformação de coordenadas entre os sistemas de referência usados em Portugal (continente e ilhas); a obtenção de valores de ondulação de geóide em Portugal Continental relativamente aos sistemas ETRS89, Hayford Gauss Datum 73, Hayford Gauss Datum Lisboa, ED50; estimar os

parâmetros de transformação de coordenadas; a importação de parâmetros de transformação de coordenadas determinados pelo utilizador e ser personalizado através da introdução de outros elipsóides de referência e sistemas de coordenadas por parte do utilizador.

A transformação directa foi o tipo de transformação utilizada para passar das coordenadas geodésicas (ϕ , λ) para as coordenadas cartográficas (M, P) segundo as seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 P &= k_0 \left(\sigma + \frac{\lambda^2}{2} N \sin \phi \cos \phi + \frac{\lambda^4}{24} N \sin \phi \cos^3 \phi K_2 + \frac{\lambda^6}{720} N \sin \phi \cos^5 \phi K_4 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\lambda^8}{40320} N \sin \phi \cos^7 \phi K_6 \right) \\
 M &= k_0 \left(\lambda N \cos \phi + \frac{\lambda^3}{6} N \cos^3 \phi K_1 + \frac{\lambda^5}{120} N \cos^5 \phi K_3 + \frac{\lambda^7}{5040} N \cos^7 \phi K_5 \right)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

onde k_0 é o factor de escala no meridiano central da projecção ($k_0 = 1$, para a cartografia portuguesa); λ é a diferença de longitude entre o ponto e o meridiano central da projecção; ϕ é a latitude geográfica do ponto; σ o comprimento do arco de meridiano desde o paralelo origem até ao paralelo do ponto; $N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}}}$ é a grande

normal à latitude ϕ ; $\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}}$ é o raio de curvatura do meridiano à latitude ϕ ;

(a , e^2) os parâmetros do elipsóide de referência;

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{N}{\rho} - \operatorname{tg}^2 \phi \\
 K_2 &= \frac{N}{\rho} + 4 \left(\frac{N}{\rho} \right)^2 - \operatorname{tg}^2 \phi \\
 K_3 &= 4 \left(\frac{N}{\rho} \right)^3 (1 - 6 \operatorname{tg}^2 \phi) + \left(\frac{N}{\rho} \right)^2 (1 + 8 \operatorname{tg}^2 \phi) - 2 \frac{N}{\rho} \operatorname{tg}^2 \phi + \operatorname{tg}^4 \phi
 \end{aligned}$$

$$K_4 = 8 \left(\frac{N}{\rho} \right)^4 (11 - 24 \operatorname{tg}^2 \phi) - 28 \left(\frac{N}{\rho} \right)^3 (1 - 6 \operatorname{tg}^2 \phi) + \left(\frac{N}{\rho} \right)^2 (1 - 32 \operatorname{tg}^2 \phi) - 2 \left(\frac{N}{\rho} \right) \operatorname{tg}^2 \phi + \operatorname{tg}^4 \phi$$

$$K_5 = 61 - 479 \operatorname{tg}^2 \phi + 179 \operatorname{tg}^4 \phi - \operatorname{tg}^6 \phi$$

$$K_6 = 1385 - 3111 \operatorname{tg}^2 \phi + 543 \operatorname{tg}^4 \phi + \operatorname{tg}^6 \phi$$

Na fase da aplicação apresentada pela Figura 40 definiu-se quais seriam os sistemas de coordenadas de entrada e de saída, igual para ambos, e o programa apresentou qual seria o método de transformação.



Figura 40 – Definição dos sistemas de coordenadas de entrada e de saída e tipo de transformação.

Definiu-se qual o sistema de coordenadas de entrada e de saída e, juntamente com estas, o tipo de altitude inicial e pretendida. Neste caso, o tipo de altitude de entrada é elipsoidal e o pretendido é ortométrico uma vez que os PFs têm de entrar no processo da TAA com cota relativa ao Sistema Altimétrico Nacional. Só é possível efectuar esta transformação associando um modelo de ondulação do geóide, usando o programa por defeito o GeodPT08 que modela a ondulação do geóide em relação ao elipsóide GRS80 (Figura 41). Assim, a altitude ortométrica é calculada da seguinte forma $H = h - N$, em que (H) representa a altitude ortométrica, (h) a altitude elipsoidal e (N) a ondulação do geóide.

Transformação de Coordenadas

Sistema de entrada: PT-TM06 - ETRS89 Modelo de ondulação do Geóide: Sim

Sistema de saída: PT-TM06 - ETRS89 Modelo de ondulação do Geóide: Sim

Transformação Utilizada: Directa

Coordenadas do sistema de entrada

Geodésicas
Rectangulares
Tridimensionais

Altitude do sistema de entrada

Existe modelo do Geóide

☒ Elipsoidal
☐ Ortométrica
Só é possível escolher o tipo de altitude se existir um modelo de ondulação do Geóide.

Coordenadas do sistema de saída

Geodésicas
Rectangulares
Tridimensionais

Altitude do sistema de saída

Existe modelo do Geóide

☒ Elipsoidal
☐ Ortométrica
Só é possível escolher o tipo de altitude se existir um modelo de ondulação do Geóide.

☒ Altitude Ortométrica é igual nos dois sistemas (Só funciona quando é escolhida altitude Ortométrica nos dois sistemas)

«-- Menu Anterior Sair Menu Seguinte -->

Figura 41 – Definição do tipo de coordenadas de entrada e saída e altitudes.

Seguidamente, tratou-se de colocar manualmente as coordenadas geodésicas dos PFs, fazendo corresponder uma identificação a cada, criando um conjunto de coordenadas de entrada como mostra a Figura 42.

Transformação de Coordenadas

Sistema de entrada: PT-TM06 - ETRS89 Modelo de ondulação do Geóide: Sim

Sistema de saída: PT-TM06 - ETRS89 Modelo do Geóide: Sim

Transformação Utilizada: Directa

Descrição Parâmetros

Manual | Ficheiro

Latitude:

Longitude:

Altitude:

Transformar Sair

Coordenadas de Saída (Transformadas) | Coordenadas de Entrada

Altimetria: Elipsoidal
Sistema de Saída: PT-TM06 - ETRS89
Coordenadas: Rectangulares
Altimetria: Ortométrica
Transformação: Directa
Parâmetros:

Salvar Limpar

Figura 42 – Inserção das coordenadas a transformar.

Após efectuar a transformação de todos os pontos pretendidos, o resultado é ilustrado pela Figura 43 que apresenta um resumo, no cabeçalho, de todas as escolhas efectuadas.

Sistema de Entrada: PT-TM06 - ETRS89 Coordenadas: Geodésicas Altimetria: Elipsoidal Sistema de Saída: PT-TM06 - ETRS89 Coordenadas: Rectangulares Altimetria: Ortométrica Transformação: Directa Parâmetros:			
Número	M	P	Altitude
108	14580.998	222547.065	745.763
116	14585.639	222598.622	743.957
101	12648.678	227619.221	593.943
102	12230.423	227305.794	525.578
103	10895.857	225109.180	628.625
104	10245.157	222613.975	822.536
105	11692.353	221432.996	855.937
106	14356.743	226373.327	806.285
107	13120.414	225374.949	802.966
109	16343.485	222094.367	839.464
110	17629.279	221139.020	929.043
111	16585.023	225069.246	762.870
112	16221.561	226237.630	719.019
113	16594.056	227131.549	816.611
114	17708.623	227808.005	796.045

Figura 43 – Coordenadas dos PFs transformadas.

Capítulo 4 - Triangulação Aérea Automática

O *software* seleccionado para efectuar a TAA para a área em estudo foi o ISAT®, da empresa americana *Intergraph*™.

Como refere Intergraph [2008], o ISAT® efectua a TAA a partir de imagens aéreas digitais. O seu principal objectivo é automatizar o processo de transferência e medição de pontos, minimizando o trabalho manual e a intervenção do operador.

Antes de iniciar o processo de aerotriangulação no ISAT® há que garantir as seguintes condições: as fotos têm de ser todas a cores ou todas a preto e branco (P/B) e em formato digital; a totalidade das fotos tem de ter o pixel com a mesma resolução geométrica; cada ficheiro tem de conter o número máximo de *overviews* possível; é imperativo conhecer-se alguns parâmetros do voo (direcção de voo, altura média de voo) e dados relativos à câmara aérea (distância focal, dimensão e formato das fotografias) [Jibao et al., 2008].

O Anexo H resume as tarefas mais importantes do *workflow* do processo de TAA no ISAT®.

Segundo Intergraph [2008], a criação de um novo projecto no ISAT está dependente de quatro passos fundamentais: “*New Project*”, “*Camera Wizard*”, “*Strip Wizard*” e o “*Edit Control Point*”. Com o comando “*New Project*” define-se o nome do projecto, as unidades de medida, sistemas de coordenadas e tolerâncias do projecto. Em “*Camera Wizard*” são definidos os parâmetros da câmara que foi utilizada para efectuar a cobertura fotográfica. O “*Strip Wizard*” permite-nos criar fiadas e definir os seus nomes, números, incremento do número das fotografias e localização das fotografias (centros de projecção) e em “*Edit Control Points*” importa-se a informação dos pontos de controlo (*control points* - PFs) e dos pontos de verificação (*check points*), podendo efectuar-se alterações em qualquer fase do projecto caso necessário. A execução da orientação interna pode ser realizada directamente no *software* através do comando “*Interior*” e, para grandes agrupamentos de fotos o *software* dispõe do comando “*Auto IO*” que permite determinar a orientação de todas as fotos presentes no projecto de uma só vez.

O projecto deverá conter informação inicial de entrada acerca da orientação externa das imagens. Estes parâmetros podem ser obtidos logo aquando da realização do voo, se este for apoiado por GPS/IMU, contribuindo com os parâmetros X, Y, Z, ω , ϕ e κ para

todas as imagens ou, em alternativa, introduzem-se na configuração de fiadas no *software*, dando as coordenadas aproximadas do centro de projecção do início e do fim da fiada, cota média do terreno e altitude média de voo.

4.1. Definição dos parâmetros iniciais

Sabendo à partida que seriam necessários valores iniciais para a orientação externa das fotografias foi efectuado um enquadramento manual que continha acerca de cada fiada o seu sentido, a identificação da foto inicial e o número de fotos que continha (Figura 44). Os centros de projecção respeitantes a cada fotografia, de início e de fim de fiada, foram transformados para ETRS89_PT_TM06 (Tabela 7) para se possuir informação necessária para configurar as fiadas. A partir da média das altitudes ortométricas dos pontos de controlo (PF's) obteve-se o valor para a cota média do terreno (~759 metros) e como apresenta a tabela no Anexo D obteve-se uma altitude média de voo (~3593 metros). Estes dados constituem assim os parâmetros iniciais de entrada, relativos à orientação externa.

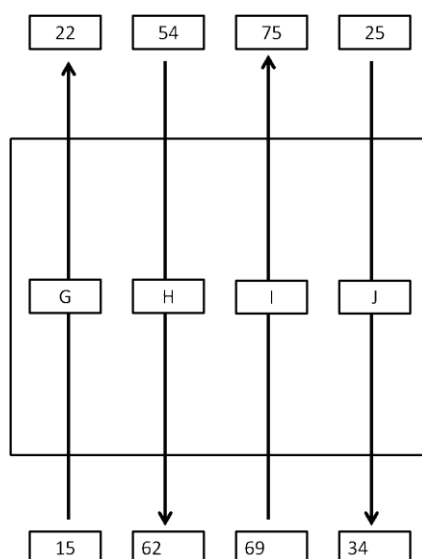


Figura 44 – Esquema do bloco (Fiadas, Foto inicial e Final).

Tabela 7 - Coordenadas dos centros de projecção em ETRS89_PT_TM06 das fotografias de início e de fim de fiada.

Identificação da Fotografia	M (m)	P(m)
45_A_25	16521.493	227485.187
45_A_34	16370.244	221100.989
44_I_69	14930.054	222210.651
44_I_75	14892.110	227684.627
44_H_54	12841.148	228630.928
44_H_62	12582.693	220742.546
44_G_15	11480.950	221052.239
44_G_22	11283.999	228937.715

4.2. Criação de novo projecto

Com a criação do projecto adaptou-se um sistema de coordenadas já existente na base de dados do IGeoE, criando o sistema de coordenadas pretendido para o projecto, “ETRS89.csf”. Definiram-se como parâmetros do projecto, o valor de pixel métrico de 21 microns, altitude de voo de 3593 metros e cota média do terreno de 759 metros.

Como valores de tolerância para os parâmetros do *Bundle Adjustment* definiram-se para o valor da precisão geral do ajustamento (*sigma naught*) 21 microns, para os erros médios quadráticos (*Root Mean Square* - RMS) da componente X e Y definiu-se 0.50 metros e para a componente Z, 1 metro; o limite dos resíduos de cada componente (X, Y e Z) generalizou-se para 0.50 metros.

4.3. Parametrização da câmara

Seguiu-se a definição dos parâmetros relativos à câmara (Figura 45) usada para realizar a cobertura fotográfica da área no voo de 1949.

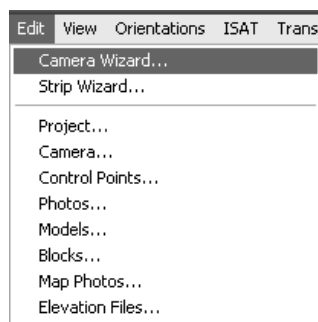


Figura 45 – Definição dos parâmetros da câmara.

Relativamente à câmara utilizada são definidos os seguintes parâmetros: distância focal, formato do filme e valores aproximados para as coordenadas fotográficas das marcas fiduciais e as coordenadas de PPBS (*Principal Point of Best Symmetry*) e de PPA (*Principal Point of Autocollimation*). Tanto o formato do filme como as coordenadas fotográficas das marcas fiduciais foram obtidos por aproximação, por medição manual, sobre o negativo, da distância entre as marcas fiduciais opostas, uma vez que não existe certificado de calibração, como refere Marques [2009].

Inferiu-se que a câmara utilizada neste trabalho foi a *Zeiss RMK S 1818*, também utilizada na obtenção das fotografias que constituem a zona de trabalho da dissertação de Marques [2009]. Conhecendo-se os valores para distância focal (204,4 mm), impressa no filme (Figura 46), e para o formato do filme (180mm x 180mm), a medição manual da distância entre marcas fiduciais resultou no valor de 174mm. Visto que as fotografias foram introduzidas no programa na posição verdadeira, relativamente ao terreno, e considerando a forma como o *software* considera o sistema de eixos foto (Figura 47), foram definidas as marcas fiduciais apresentadas na Tabela 8, marcadas conforme indica a Figura 47, qualquer que seja a orientação da fotografia, isto é, quer a identificação esteja no canto superior direito ou no canto inferior esquerdo.

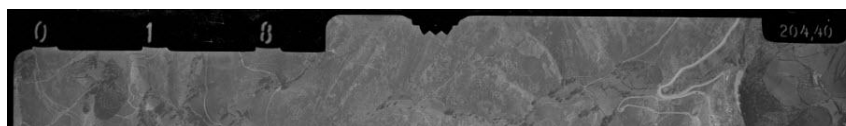


Figura 46 – Excerto de negativo para demonstrar onde se encontra informação da distância focal.

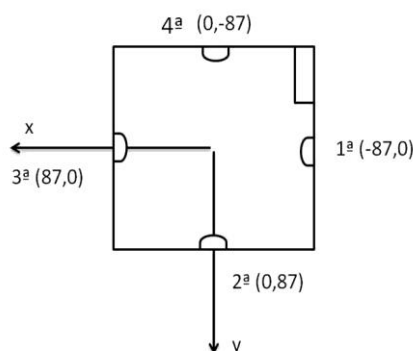


Figura 47 – Sistema de eixos foto que o programa ISAT considera.

Tabela 8 - Coordenadas fotográficas das marcas fiduciais.

ID marca	X(mm)	Y(mm)
1ª	-87.000	0.000
2ª	0.000	87.000
3ª	87.000	0.000
4ª	0.000	-87.000

4.4. Definição das fiadas

Segue-se a definição das fiadas que constituem o projecto, *Strip Wizard* (Figura 48). Nesta etapa como demonstra a Figura 48, identifica-se as fiadas, a denominação das imagens, o seu incremento na fiada e quantas fotos irão constituir essa fiada.

The Strip Wizard will allow you to "bulk" create photos and optionally generate models. You may also provide some approximate EO parameters that speed up the orientation process.

Enter some basic strip and photo name information below:

Strip ID:

Prefix: Initial Num: Suffix:

Photo ID: 1

Number Field Increment:

Number Field Width:

Number of Photos:

Example Photo ID: ~01

< Back Next > Cancel Help

Figura 48 – Configuração das fiadas no programa ISAT.

O passo mais importante na definição de cada fiada é a orientação da câmara, determinando assim o sentido da criação dos modelos estereoscópicos. Para as fiadas G e I, da folha 44 da carta militar 1:25000, que se desenvolvem de Sul para Norte, definiu-se como valor para orientação dos modelos de 270° , verificando através da ferramenta “*Footprint Viewer*” a correcta formação dos modelos. Para o caso das fiadas H e A, das folhas 44 e 45 da carta militar 1:25000, respectivamente, que se desenvolvem de Norte para Sul, o ângulo de orientação foi definido para 90° . Para cada fiada, era igualmente necessário indicar os parâmetros de orientação externa aproximados, tornando possível ao programa calcular a percentagem de sobreposição entre fotografias da mesma fiada e a direcção de voo. Passa apenas por colocar-se as coordenadas dos centros de projecção das fotografias de início e do fim de fiada (Tabela 8), a cota média do terreno e a altitude de voo.

Criadas as fiadas, ficaria a faltar a colocação dos pontos do apoio fotogramétrico (PFs) dentro do projecto (“*Edit Control Points*”) e atribuir à área de cada fotografia aérea definida pelo *software* a respectiva imagem.

4.5. Determinação da orientação interna das fotos

À partida o processo de orientação interna das fotos, próximo passo a seguir, só seria possível se existisse certificado de calibração. Pode recorrer-se assim a duas alternativas: efectuar o cálculo das orientações internas no Programa SITIO – *S.c.e.’s Image Treatment and Internal Orientations* ou manter o ponto principal de melhor simetria (PPBS) e o ponto principal de autocolimação (PPA) com coordenadas foto a zero. Optou-se pela segunda alternativa, como mostra a Tabela 9, por duas razões: ao tratar-se de valores na ordem do micrometro não haveria influência negativa, significativa na precisão final do ajustamento para os objectivos deste projecto; o programa SITIO foi realizado para trabalhar com um ficheiro “*photo*” de uma versão mais antiga do *software* ISAT® e não era compatível com o novo formato.

Tabela 9 - Parâmetros da câmara adaptada para realização da TA.

	x(mm)	Y(mm)
PPA	0	0
PPBS	0	0

Posto isto, é possível realizar a orientação interna das fotografias, medição das coordenadas pixel das marcas fiduciais de todas as fotografias aéreas directamente no *software*. A Figura 49 apresenta o ambiente em que é feita esta operação.

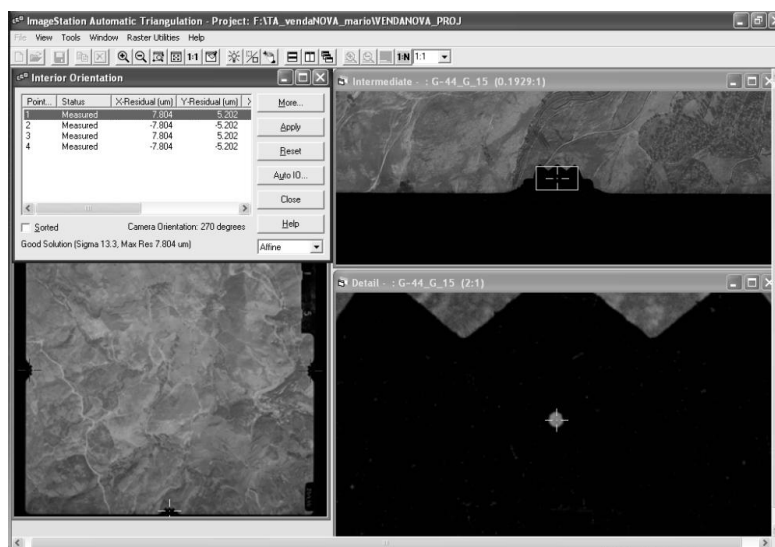


Figura 49 – Ambiente de medição das coordenadas pixel das marcas fiduciais.

4.6. Medição dos pontos de controlo (PFs)

A próxima fase passa pela medição dos PFs em todas as fotografias onde aparecem, usando o comando “*Point Measurement*” no menu “*ISAT*”. É fulcral a selecção de uma ou mais fotos, o que resultará num ambiente estereoscópico de medição de pontos em diversas fotografias ao mesmo tempo. Seleccionando o PF que se pretende medir surgem todas as fotos onde este ponto aparece. Recorre-se à estereoscopia, de modo a localizar correctamente o ponto no terreno, visto que só neste tipo de ambiente se tem noção de profundidade. No decorrer deste processo verificou-se que existiam PFs que não poderiam ser usados (PF102, PF107, PF108, PF112,) por serem “maus” PFs. Quanto ao PF107 e ao PF108 não foram considerados, uma vez que a localização definida previamente não correspondia ao que existia aquando da altura do voo. Tanto o PF102 como o PF112 não foram utilizados visto que a sua localização era fisicamente muito ambígua, tal que não correspondem a vértices bem definidos como se pressupunha através da análise do local nas fotografias.

4.7. Determinação automática dos pontos homólogos

Segue-se a preparação do bloco para o primeiro *Bundle Adjustment*. Considera-se um bloco como um grupo de fotografias organizadas segundo uma ordem lógica.

Usa-se o comando *Block Preparation* para definir um bloco seleccionando as fotografias da lista que queremos que façam parte do bloco “Geral”. Neste caso em particular foram seleccionadas todas as fotografias para integrarem o bloco (Figura 50).

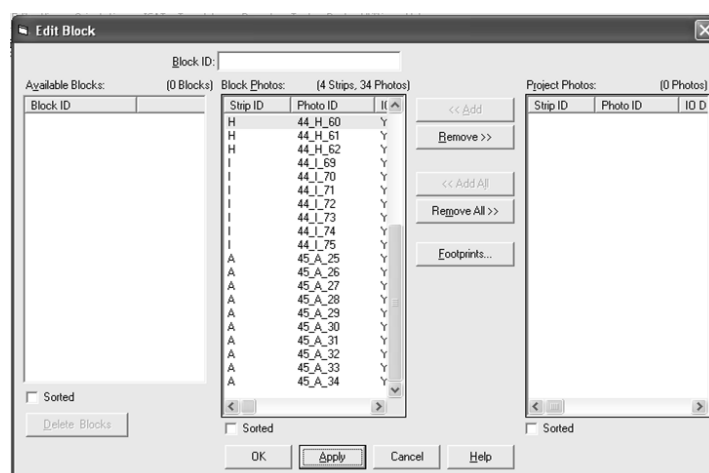


Figura 50 – Definição do bloco e selecção das fotografias que lhe pertencem.

Efectuou-se, seguidamente, o primeiro *Bundle Adjustment*, triangulação aérea automática em bloco por feixes perspectivais, utilizando o comando *Control Panel* (Figura 51).

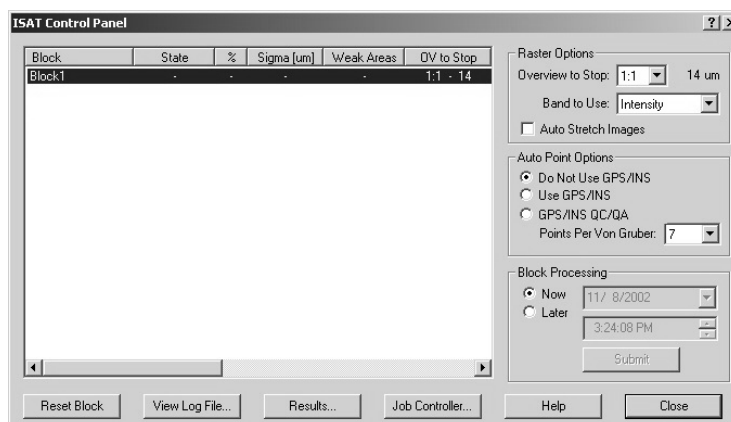


Figura 51 – *ISAT Control Panel*, realização do primeiro *Bundle Adjustment* [Intergraph,2008].

Este comando efectua um pré-processamento encontrando pontos homólogos entre imagens, pontos de ligação entre fiadas (*tie points*) e pontos de ligação entre modelos (*pass points*) [Marques, 2009]. Este primeiro processo permite detectar *weak areas*, isto é, áreas em que o *software* não conseguiu encontrar correlação para diversos pontos. Estas “áreas fracas” podem ser editadas posteriormente medindo-se novos pontos manualmente que permitam encontrar os seus homólogos de forma correcta. Este processo, durou cerca de 23 minutos e 42 segundos, com uma precisão de ajustamento de cerca 19.7 microns, permitiu verificar que existia uma fotografia que não estava a ser usada, devido à sua má qualidade (Figura 52). Graças ao *software* SITIO, foi possível submeter todas as fotos da fiada a que corresponde a fotografia não usada (Fiada A) a uma melhoria do brilho e do contraste, visto este possuir uma componente que realiza esta tarefa. A Figura 53 apresenta o resultado desta melhoria para a imagem em questão.

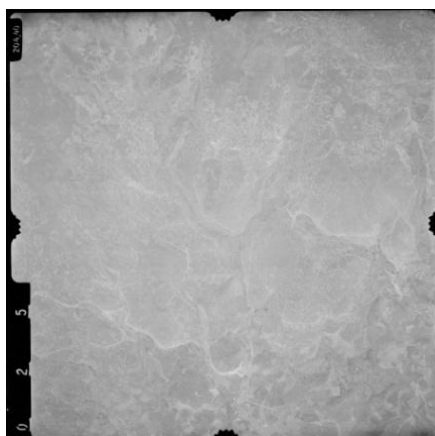


Figura 52 – Fotografia 25, da fiada A, com características iniciais.

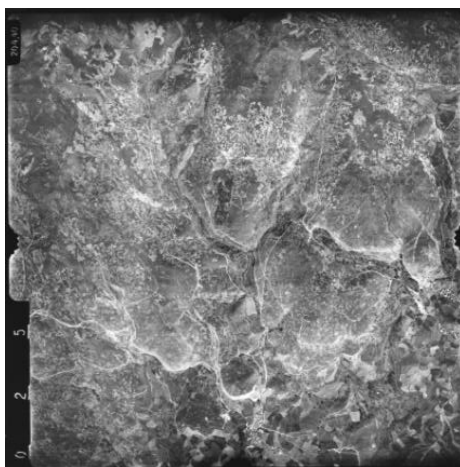


Figura 53 – Fotografia 25, Fiada A, depois de submetida a operadores de melhoramento de imagem.

Este facto retardou o processo de ajustamento do bloco, obrigando à redefinição da fiada A, atribuição das fotografias melhoradas referentes a esta fiada, determinação da orientação interna para as novas fotos, assim como medição dos PFs que se encontravam nas fotografias, criação e preparação do novo bloco. Um novo *Bundle Adjustment* utilizando o *Control Panel* realizado, não apresentou melhorias substanciais no que diz respeito à quantidade de pontos homólogos obtidos para esta fiada, mas, neste processamento, nenhuma das fotografias foi excluída. Posteriormente foram editadas as *weak areas* detectadas pelo *software*, e feitos ajustes a determinados pontos, que apresentavam o seu RMS muito acima do definido inicialmente.

4.8. Realização da Triangulação Aérea

Prosseguiu-se com uso do comando *Photo Triangulation > Triangulation*. Este comando efectua um novo *Bundle Adjustment* tendo em conta as alterações feitas anteriormente. Nesta etapa configurou-se o processamento para efectuar o ajustamento absoluto usando os pontos de controlo, de ligação e de passagem (Figura 54).

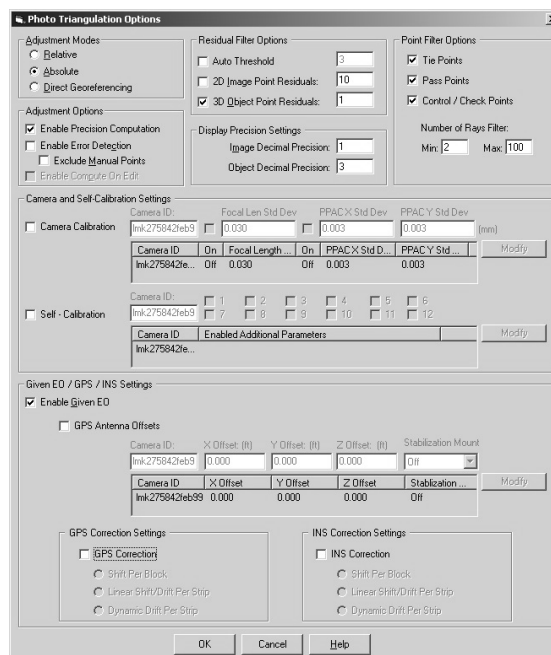


Figura 54 – Realização da Triangulação com o comando *Photo Triangulation*.

Iniciou-se o novo processamento, de curta duração, sendo os resultados relativos aos pontos de controlo (PFs) resumidos na seguinte Tabela 10.

Tabela 10 - Controlo de qualidade do ajustamento para os PFs.

Parâmetros	X (m)	Y(m)	Z(m)
RMS Control	0.110	0.062	0.030
RMS Limits	0.500	0.500	1.000

Os resultados referentes aos resíduos para as coordenadas calculadas para cada ponto de controlo foram igualmente satisfatórios, como é possível verificar na Tabela 11 encontrando-se abaixo dos limites definidos inicialmente.

Tabela 11 - Valores de resíduos máximos obtidos.

Parâmetros	X(m)	Y(m)	Z(m)
Max Ground Residual	0.229	0.136	0.058
Residual Limits	0.500	0.500	0.500

A precisão global do ajustamento foi agradavelmente satisfatória, com *sigma naught* de 6.8 microns, tendo em conta o suporte fotográfico em que as fotografias se encontravam, o facto de terem sido digitalizadas, e ainda o facto de não existir certificado de calibração. O resultado final ficou muito abaixo do limite dos 21 microns definidos inicialmente.

Pode-se afirmar que a precisão global no terreno, para uma escala média de 1:17582 é de cerca de 0.12 metros ($17582 \times 6.8\text{e-}6 = 0.119\text{m}$).

A finalização do processo de aerotriangulação automática do bloco dá-se quando se efectua o cálculo da orientação relativa e absoluta dos modelos (*Bulk Orientation*) para que estes possam ser utilizados posteriormente no ISOP®, contudo é necessário, *a priori*, agrupar todas as coordenadas terreno dos pontos de passagem e dos pontos de ligação do ficheiro “*triang*” para o ficheiro “*control*”. Este processo é feito utilizando o *Densify Command* (*Orientations Menu > Photo Triangulation submenu*). Recorre-se ao comando *Bulk Orient* (*Orientations Menu > Photo Triangulation submenu*) para obter a orientação relativa e absoluta dos modelos. Para tal, há que seleccionar o bloco de trabalho, os modelos para os quais queremos obter as orientações e as fotografias que

lhes dizem respeito. Efectuado o processamento dos trinta modelos para os quais se obteve as orientações absolutas há que observar que os modelos constituídos pelas três primeiras fotografias da fiada A, da folha 45, obtiveram os piores resultados em termos de RMS (Figura 55) visto que nas três primeiras fotografias desta fiada o conjunto de pontos homólogos encontrados não é muito vasto.

```

Computing AO solutions.
RMS is in meters.

Model Id: G-44_G_15+G-44_G_16, Iters: 3, Dof: 296, Sigma: 30.83, Num Pts: 101, RMS (X: 0.167, Y: 0.103, Z: 0.411, XY: 0.139)
Model Id: G-44_G_16+G-44_G_17, Iters: 3, Dof: 344, Sigma: 43.14, Num Pts: 117, RMS (X: 0.159, Y: 0.079, Z: 0.588, XY: 0.126)
Model Id: G-44_G_17+G-44_G_18, Iters: 3, Dof: 335, Sigma: 31.73, Num Pts: 114, RMS (X: 0.168, Y: 0.099, Z: 0.347, XY: 0.138)
Model Id: G-44_G_18+G-44_G_19, Iters: 3, Dof: 341, Sigma: 41.62, Num Pts: 116, RMS (X: 0.183, Y: 0.126, Z: 0.488, XY: 0.157)
Model Id: G-44_G_19+G-44_G_20, Iters: 3, Dof: 338, Sigma: 39.08, Num Pts: 115, RMS (X: 0.189, Y: 0.109, Z: 0.433, XY: 0.154)
Model Id: G-44_G_20+G-44_G_21, Iters: 3, Dof: 335, Sigma: 40.07, Num Pts: 114, RMS (X: 0.168, Y: 0.138, Z: 0.540, XY: 0.153)
Model Id: G-44_G_21+G-44_G_22, Iters: 3, Dof: 326, Sigma: 39.85, Num Pts: 111, RMS (X: 0.173, Y: 0.083, Z: 0.566, XY: 0.136)
Model Id: H-44_H_54+H-44_H_55, Iters: 3, Dof: 350, Sigma: 34.73, Num Pts: 119, RMS (X: 0.166, Y: 0.114, Z: 0.531, XY: 0.142)
Model Id: H-44_H_55+H-44_H_56, Iters: 3, Dof: 401, Sigma: 49.29, Num Pts: 136, RMS (X: 0.207, Y: 0.106, Z: 0.608, XY: 0.165)
Model Id: H-44_H_56+H-44_H_57, Iters: 2, Dof: 416, Sigma: 47.56, Num Pts: 142, RMS (X: 0.220, Y: 0.111, Z: 0.508, XY: 0.174)
Model Id: H-44_H_57+H-44_H_58, Iters: 3, Dof: 452, Sigma: 47.84, Num Pts: 154, RMS (X: 0.207, Y: 0.109, Z: 0.579, XY: 0.165)
Model Id: H-44_H_58+H-44_H_59, Iters: 3, Dof: 479, Sigma: 39.56, Num Pts: 162, RMS (X: 0.187, Y: 0.094, Z: 0.441, XY: 0.148)
Model Id: H-44_H_59+H-44_H_60, Iters: 3, Dof: 503, Sigma: 40.72, Num Pts: 170, RMS (X: 0.187, Y: 0.119, Z: 0.414, XY: 0.157)
Model Id: H-44_H_60+H-44_H_61, Iters: 3, Dof: 359, Sigma: 32.66, Num Pts: 122, RMS (X: 0.150, Y: 0.120, Z: 0.406, XY: 0.136)
Model Id: H-44_H_61+H-44_H_62, Iters: 3, Dof: 275, Sigma: 28.61, Num Pts: 94, RMS (X: 0.116, Y: 0.095, Z: 0.442, XY: 0.106)
Model Id: I-44_I_69+I-44_I_70, Iters: 3, Dof: 275, Sigma: 48.68, Num Pts: 94, RMS (X: 0.257, Y: 0.120, Z: 0.530, XY: 0.201)
Model Id: I-44_I_70+I-44_I_71, Iters: 3, Dof: 401, Sigma: 35.03, Num Pts: 136, RMS (X: 0.174, Y: 0.097, Z: 0.371, XY: 0.141)
Model Id: I-44_I_71+I-44_I_72, Iters: 3, Dof: 389, Sigma: 44.23, Num Pts: 132, RMS (X: 0.181, Y: 0.130, Z: 0.403, XY: 0.158)
Model Id: I-44_I_72+I-44_I_73, Iters: 3, Dof: 350, Sigma: 41.25, Num Pts: 119, RMS (X: 0.154, Y: 0.115, Z: 0.488, XY: 0.136)
Model Id: I-44_I_73+I-44_I_74, Iters: 3, Dof: 407, Sigma: 40.66, Num Pts: 138, RMS (X: 0.168, Y: 0.118, Z: 0.412, XY: 0.145)
Model Id: I-44_I_74+I-44_I_75, Iters: 3, Dof: 296, Sigma: 35.21, Num Pts: 101, RMS (X: 0.150, Y: 0.101, Z: 0.364, XY: 0.128)
Model Id: A-45_A_25+A-45_A_26, Iters: 3, Dof: 11, Sigma: 160.40, Num Pts: 6, RMS (X: 0.852, Y: 0.698, Z: 1.061, XY: 0.768)
Model Id: A-45_A_26+A-45_A_27, Iters: 4, Dof: 17, Sigma: 133.50, Num Pts: 8, RMS (X: 0.466, Y: 0.292, Z: 1.268, XY: 0.389)
Model Id: A-45_A_27+A-45_A_28, Iters: 3, Dof: 224, Sigma: 39.42, Num Pts: 77, RMS (X: 0.154, Y: 0.135, Z: 0.475, XY: 0.145)
Model Id: A-45_A_28+A-45_A_29, Iters: 3, Dof: 275, Sigma: 53.96, Num Pts: 94, RMS (X: 0.136, Y: 0.089, Z: 0.645, XY: 0.115)
Model Id: A-45_A_29+A-45_A_30, Iters: 3, Dof: 281, Sigma: 53.90, Num Pts: 96, RMS (X: 0.217, Y: 0.150, Z: 0.456, XY: 0.186)
Model Id: A-45_A_30+A-45_A_31, Iters: 3, Dof: 314, Sigma: 36.14, Num Pts: 107, RMS (X: 0.136, Y: 0.094, Z: 0.386, XY: 0.117)
Model Id: A-45_A_31+A-45_A_32, Iters: 3, Dof: 293, Sigma: 38.32, Num Pts: 100, RMS (X: 0.199, Y: 0.131, Z: 0.340, XY: 0.169)
Model Id: A-45_A_32+A-45_A_33, Iters: 3, Dof: 293, Sigma: 32.19, Num Pts: 100, RMS (X: 0.177, Y: 0.093, Z: 0.452, XY: 0.141)
Model Id: A-45_A_33+A-45_A_34, Iters: 3, Dof: 236, Sigma: 21.04, Num Pts: 81, RMS (X: 0.094, Y: 0.068, Z: 0.428, XY: 0.082)

30 AO Solutions computed.

```

Figura 55 – A área a preto delimita as fotos da fiada A que tiveram piores resultados em termos de RMS.

Os parâmetros de orientação externa, para cada fotografia, obtidos através da realização do projecto no *software* ISAT®, encontram-se no Anexo I.

Capítulo 5 - Obtenção do Modelo Digital de Superfície

O *software* ISAE®, utilizado neste estudo, permite obter modelos digitais de elevação a partir de pares estereoscópicos de imagens digitais. Os seus métodos de processamento de imagens e a sua estrutura de dados hierárquica permitem obter um elevado grau de automação, redundância e precisão. Devido à sua elevada redundância é possível obter modelos digitais de elevação eficientemente. Através de um processo de refinamento da determinação de pontos homólogos (através da correlação entre os pormenores radiométricos homólogos de cada imagem com base na geometria epipolar¹¹), em cada nível hierárquico (nível de menor resolução ao de maior resolução), e respectivo cálculo aproximado do MDE por interpolação bilinear dos pontos homólogos encontrados, o *software* é capaz de gerar modelos digitais de elevação com elevada precisão (Figura 56).

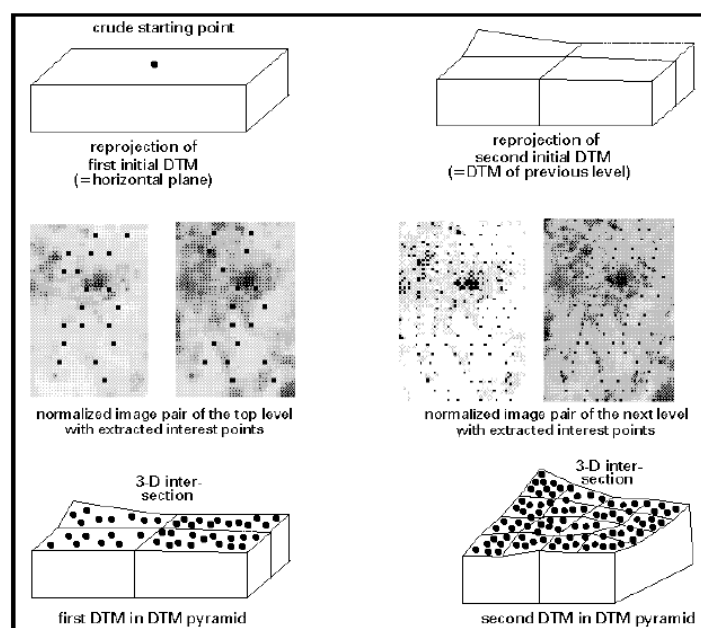


Figura 56 – Processo de refinamento do MDE [Intergraph,2008a].

¹¹ Segundo Aires [2010], geometria epipolar é a relação geométrica da intersecção entre os planos das imagens com o conjunto de planos epipolares, tendo a recta da linha de base como intersecção entre eles. A partir da geometria epipolar entre duas imagens de uma câmara, verifica-se que a projecção de um ponto 3D numa das imagens, está associada uma recta epipolar na outra imagem sobre a qual se situa o seu ponto homólogo. A este método dá-se o nome de restrição da epipolar.

Ao aceder ao *software* ISAE® são definidos os seguintes elementos:

- Selecção do ficheiro projecto a usar (vindo do ISAT® e contendo as orientações internas e externas das fotografias) e dos modelos a processar;
- Selecção dos ficheiros de entrada que contenham o sistema de coordenadas em concordância com o do projecto;
- Especificação dos ficheiros de saída, nos quais serão armazenados os dados gerados pelo ISAE®;
- Definição do nome e directório onde se encontram os modelos a serem processados pelo ISAE®.

Ao seleccionar-se o ficheiro do projecto correspondente à área de estudo, o *software* automaticamente lista os modelos que contenham as respectivas imagens, *overviews*, (Figura 57) e parâmetros de orientação.

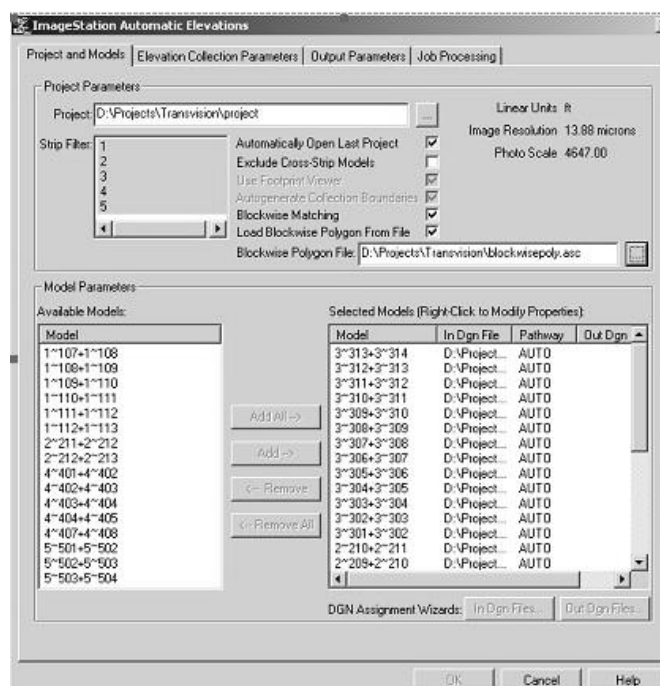


Figura 57 – Listagem dos modelos existentes no ficheiro de projecto [Intergraph, 2008a].

É necessário definir a localização e a identificação, que deve ser única, dos ficheiros de saída. Desta forma o ISAE® cria ficheiros de “*design*” para cada modelo estereoscópico, com a identificação das fotografias que compõem cada um. Associado a estes “nomes” estará um ficheiro “*seed*”, tridimensional, que se requer vazio.

Segue-se a definição dos parâmetros da *Elevation Collection Parameters* (Figura 58), em que para além de todos os restantes parâmetros, focar-nos-emos no tipo do terreno que se escolhe e no espaçamento da grelha que se define. Existem três alternativas para a escolha do tipo de terreno: *Flat*, *Hilly* ou *Mountainous*. O primeiro é relativo a uma superfície de terreno do tipo plano, isto é, com declives suaves; o segundo refere-se a um terreno com as características de colinas; por último, no tipo de terreno montanhoso os declives são muito acentuados. A zona de trabalho apresentava características mistas, conforme a localização, pelo que se definiu um tipo de terreno *Hilly*.

Relativamente à parametrização da reconstrução da superfície, começa-se pela inserção dos dados relativos à largura da grelha, ao valor do desvio padrão e qual o filtro de adoçamento do terreno a utilizar [Sequeira, 2006]. Definiu-se uma grelha com uma quadricula de 5m x 5m, uma vez que quanto mais baixo é este valor, mais tempo de processamento e espaço de armazenamento é necessário.

O valor relativo ao desvio padrão é fornecido pela triangulação aérea automática realizada no ISAT®. Este valor descreve a precisão teórica da medição 3D dos pontos do terreno e define um parâmetro de “*Threshold*” que limita o ajustamento dos pontos do terreno [Intergraph, 2008a].

Configurou-se o tipo de filtro a utilizar, segundo recomendações do manual do ISAE®, para *Medium* com um grau de adoçamento associado de 3. Esta propriedade determina o grau com que o ISAE® filtra detalhes fora do terreno e adoça as superfícies terrestres. O grau de adoçamento depende do tipo de terreno. Quando um tipo de terreno é demasiado plano, um alto grau de suavização é razoável, mas quando o terreno montanhoso é muito áspero, um médio ou mesmo um baixo grau de suavização é aconselhável [Intergraph, 2008a].

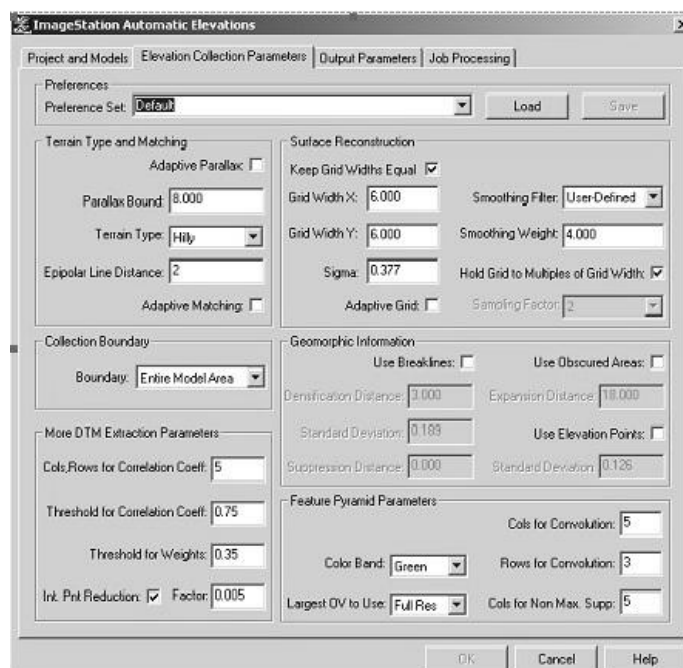


Figura 58 – Parametrização dos ficheiros de elevação [Intergraph, 2008a].

Relativamente à parametrização dos ficheiros de saída decidiu-se que os dados relativos à superfície seriam introduzidos nos *Design Files* definidos inicialmente, identificados pelo modelo a que correspondiam. Seleccionou-se a opção de obter vários tipos de ficheiros de saída (*Raw Files*, *Que Files* e *DTM Files*) como se pode constatar na Figura 59. O tipo mais importante, e necessário, trata-se dos *DTM files*, que contêm os dados da superfície (MDS) obtida.

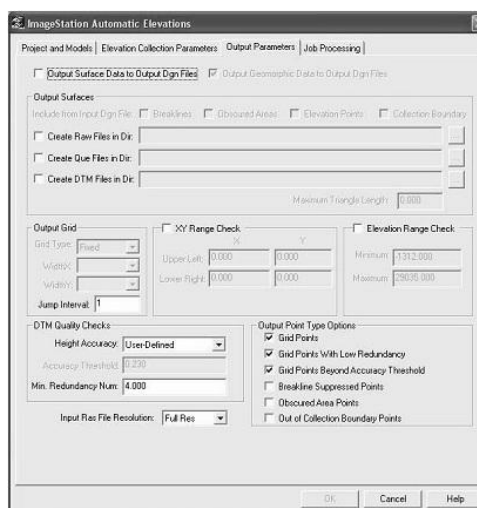


Figura 59 – Definição do tipo de ficheiros de saída [Intergraph, 2008a].

Finalmente, para se obter um modelo digital de superfície do projecto da TAA para a área de trabalho, submeteu-se o projecto ao processamento. A Figura 60 apresenta o resultado final da superfície obtida, em 2D.

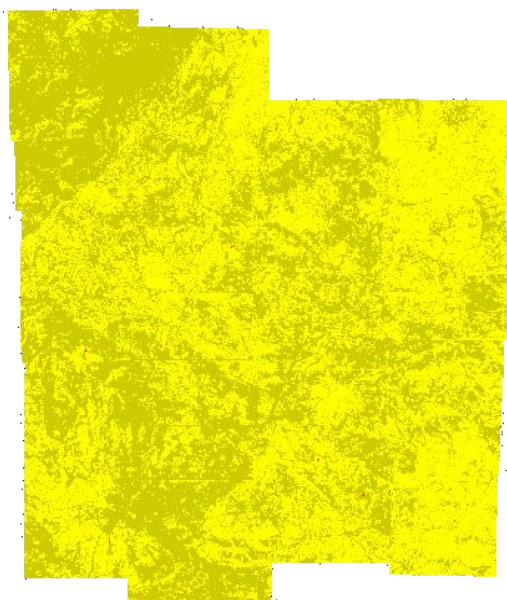


Figura 60 – Modelo Digital de Superfície em 2D do bloco em estudo.

5.1. Edição das áreas de sobreposição

Para efectuar o enquadramento em *Microstation* foram necessários os centros de projecção da primeira e da última foto de cada fiada. Com o auxílio do *Microstation* V7®, estimaram-se as linhas verticais que efectuem a separação entre fiadas. Dividiu-se o espaço existente entre as coordenadas do centro de projecção da primeira e da última foto de cada fiada no número de fotos existentes entre elas, obtendo-se a área respectiva de cada modelo estereoscópico (Figura 61). Seguidamente, foram importados para este ficheiro de enquadramento todos os resultados da extracção do MDS para cada modelo que foi gerado no *software* ISAE® (Figura 62). Findo este processo verificou-se que a zona de sobreposição entre todos os modelos era exagerada e que provocaria irregularidades indesejadas na criação da TIN e posteriormente na representação 3D com textura real da área de estudo. Deste modo, para cada área estimada pertencente a cada modelo estereoscópico, mantiveram-se os pontos no interior desta área e eliminou-se o excesso de sobreposição, garantindo sempre uma margem no exterior de

sobreposição, de maneira a manter a ligação entre modelos perfeita. Caso contrário, a inexistência de informação causaria lacunas de informação no modelo 3D com textura realista.

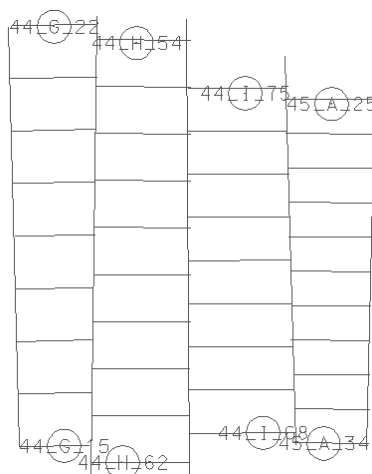


Figura 61 – Enquadramento obtido em Microstation V7® delimitando cada área dos modelos.

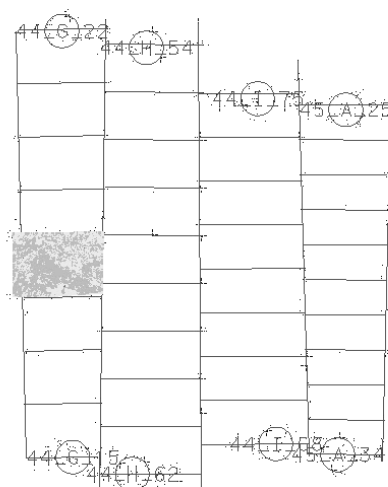


Figura 62 – Importação dos pontos coordenados para cada modelo e consequente eliminação do excesso de sobreposição.

A criação da TIN está dependente da exportação dos dados que compõem os modelos de elevação, para cada fiada, gerados no ISAE®.

Em ambiente *Microstation V7®*, reconstituiu-se todas as fiadas com os modelos que as constituem, obtendo-se um resultado igual ao apresentado na Figura 63, relativa à fiada G, da folha 44.

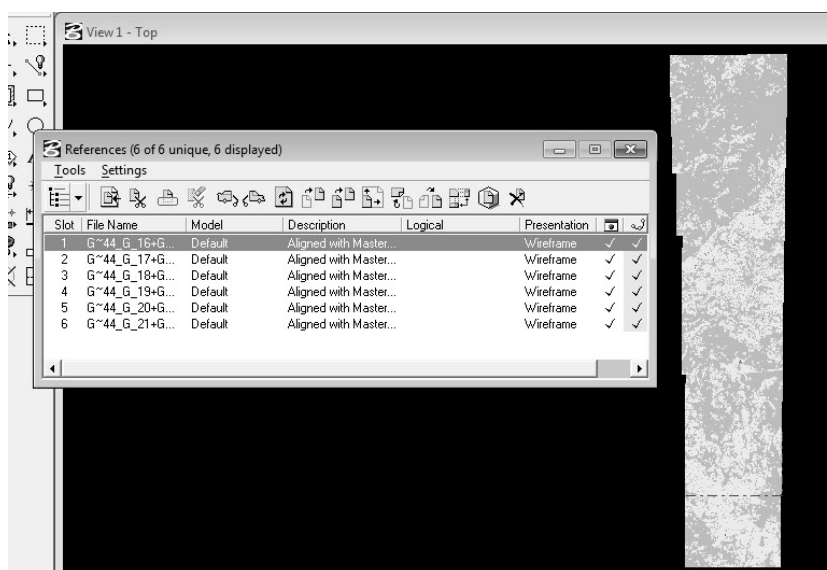


Figura 63 – Reconstituição fiada a fiada.

Seguidamente exportaram-se para um ficheiro de texto as coordenadas que constituem o MDS gerado para cada fiada, fazendo uso de uma “fence” (Figura 64).

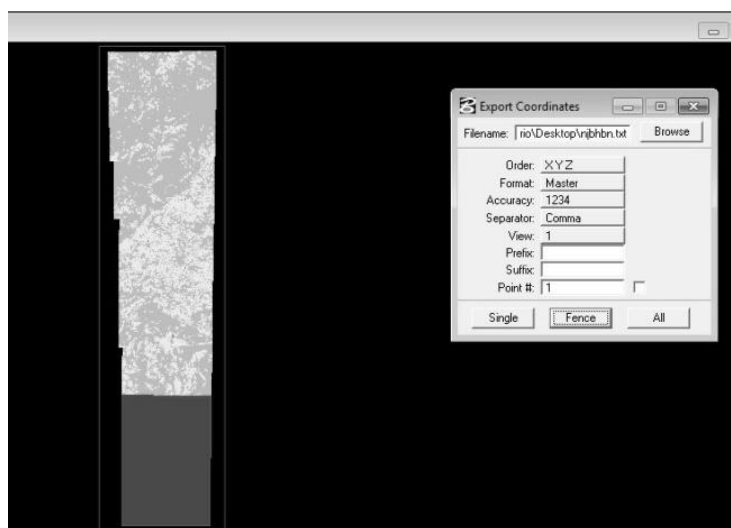


Figura 64 – Criação de ficheiros de texto com pontos coordenados de cada fiada.

Procedeu-se de igual modo, repetindo os passos anteriores, para as restantes três fiadas, obtendo-se quatro ficheiros de texto.

Capítulo 6 - Criação do Modelo Tridimensional da zona de estudo

A realização da representação do modelo digital de superfície integrou os seguintes passos principais, ambos executados em ambiente Arcgis®:

- Conversão dos ficheiros de texto com coordenadas dos MDS das fiadas para uma classe multipontual (Ferramenta *ASCII 3D to Feature Class*), com espaçamento igual ao espaçamento inserido para gerar o modelo digital da superfície;
- Criação da TIN.

O primeiro ponto é de extrema importância, visto que só assim se obteve “material” para criara a TIN, anulando a necessidade de introduzir manualmente os dados, processo bastante moroso e quase impossível no tempo previsto.

Usando a ferramenta *Create TIN* (*3D Analyst Tool > Tin Management > Create TIN*) é possível representar o terreno digitalmente, tendo como dados de entrada a classe multipontual criada no passo anterior (“PTS_org”) (Figura 65).

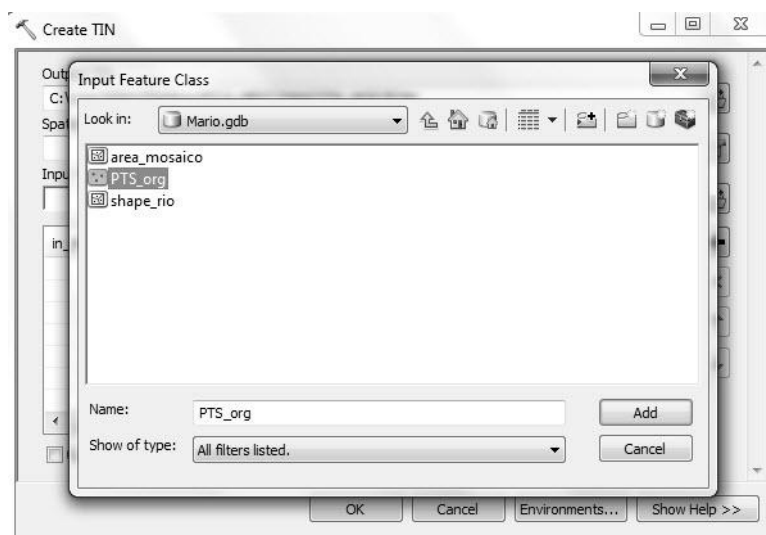


Figura 65 – Criação da TIN a partir da *feature class* “PTS_org”.

O resultado da criação da TIN apresenta-se na Figura 66.

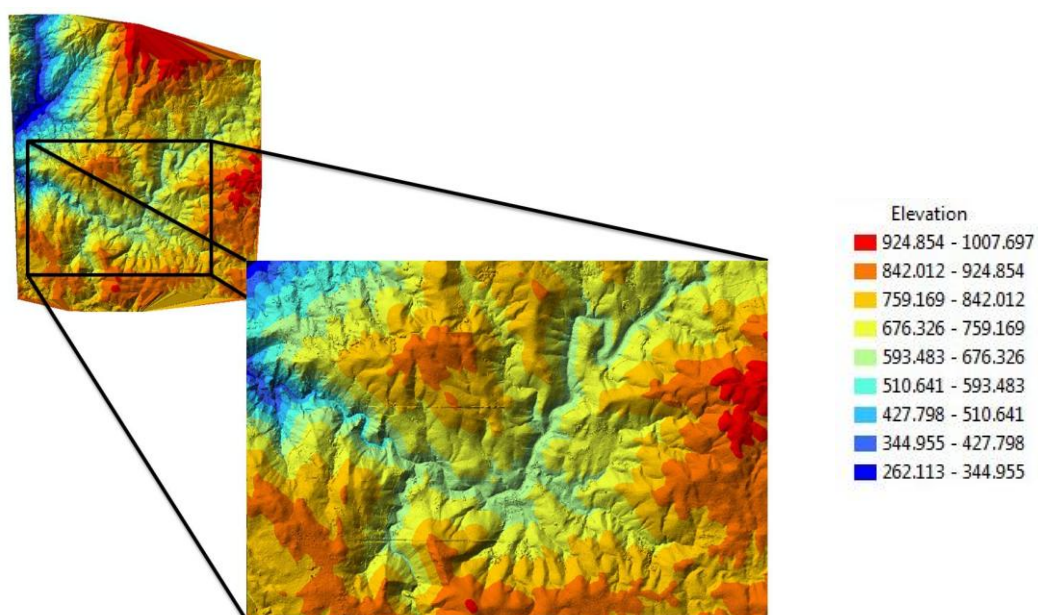


Figura 66 – Resultado da criação da TIN com ampliação do leito do rio.

Da interpretação da Figura 66, resulta a visualização da marcação da paisagem pelo leito do rio em 1949, encontrando-se nas zonas de elevação mais baixas.

Capítulo 7 - Geração de ortofotos e do ortomosaico

O *software* ISOP® foi o software utilizado na geração do ortomosaico em causa. Produto da *Zeiss Intergraph Imaging*, inclui o *Project Planning*, *Rectification*, *Dodging*, *Mosaicking* e uma componente de controlo de qualidade. Este *software* está integrado com o Geomedia®.

Os elementos indicados acima constituem genericamente os principais passos na obtenção de ortomosaicos usando este *software*. No *Project Planning* são definidas as fotografias que vão compor o ortomosaico, o ficheiro do projecto fotogramétrico realizado no ISAT® que contém todos os parâmetros de orientação interna e externa determinados e o modelo digital de elevação correspondente à área de estudo. No submenu *Rectification*, o *software* executa a ortorrectificação, simultânea, das fotografias que se pretendem. Em *Dodging*, processo opcional, são eliminados quaisquer problemas de exposição que as ortofotos criadas possam conter. No submenu *Mosaicking* é gerado o ortomosaico final, composto pelas ortofotos, e executada a harmonização radiométrica e de contraste do produto final (Figura 67).

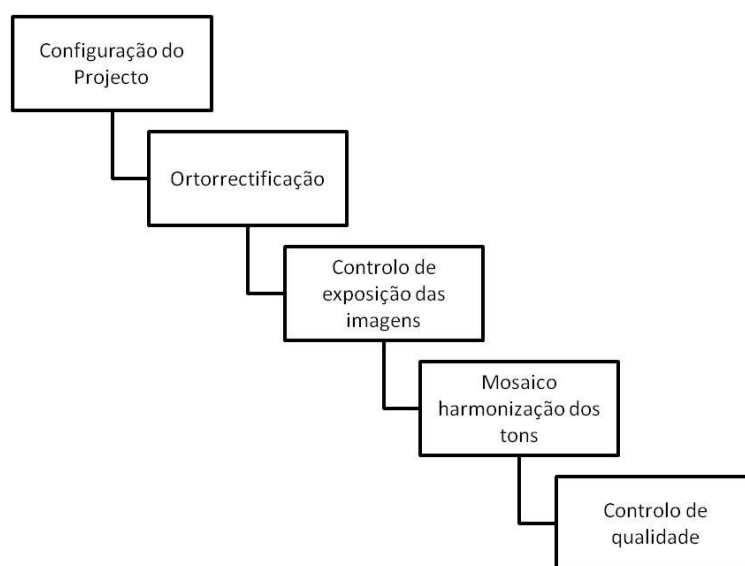


Figura 67 – Principais passos do fluxo de trabalho do ISOP®.

No estudo em causa, a primeira fase da criação do ortomosaico no software ISOP® passou pela criação e parametrização do projecto, ou seja, a definição do *geoworkspace* no GeoMedia® e suas características de visualização. É necessário definir um sistema de coordenadas para os produtos finais (imagens ortorrectificadas e ortomosaico).

Criado o projecto, surge uma caixa de diálogo *OrthoPro Control* e as legendas do *Geomedia®* aparecem actualizadas, guardados na *GeoMedia Warehouse* criada com o novo projecto (Figura 68).

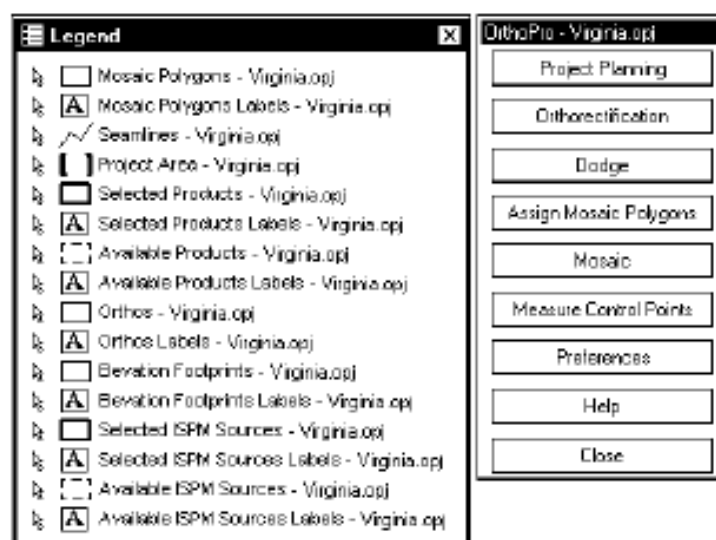


Figura 68 – Criação de um novo projecto no ISOP® [Madani, 1999].

A partir desta caixa de diálogo é possível executar todas as fases inerentes ao processo de obtenção de ortofotos e do ortomosaico. Estas fases consistem em: *Project Planning*, *Orthorectification*, *Assign Mosaic Polygons*, *Mosaic*.

O *Project Planning*, como referido anteriormente, consiste em definir as fotografias que vão compor o ortomosaico, o ficheiro do projecto fotogramétrico realizado no ISAT® e especificar o modelo digital de elevação correspondente à área de estudo. Seleccionou-se o ficheiro do projecto da aerotriangulação automática realizado no ISAT® como dado de entrada, permitindo seleccionar, da lista das *Available Sources*, todas as imagens do projecto a rectificar (Figura 69).

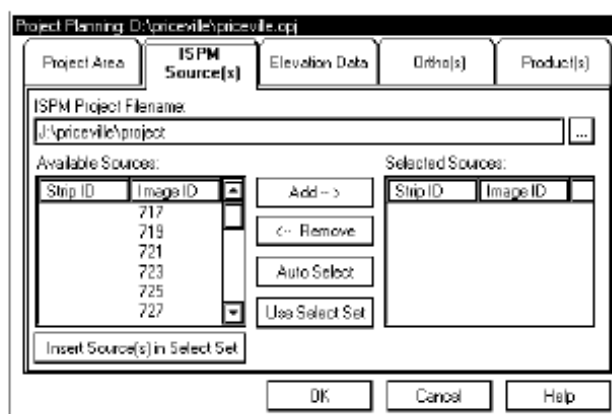


Figura 69 – Selecção do ficheiro do projecto realizado no ISAT® [Madani, 1999].

Seguidamente, especificou-se a área do projecto através da opção *Draw on Mapview*, que possibilita desenhar um polígono englobando todas as imagens relativas à área de estudo.

A próxima fase consistiu na definição do ficheiro de elevações que se obteve no *software* ISAE®. A obtenção do ficheiro de elevações compatível com o *software* ISOP®, em formato ASCII, está dependente de um determinado número de conversões (Figura 70), realizadas inicialmente sobre a TIN gerada. Em ambiente Arcgis®, a TIN foi convertida para *Raster* com a ferramenta “*TIN to RASTER*”. O ficheiro *Raster* obtido (Figura 71) foi convertido para o formato ASCII com ajuda da ferramenta “*RASTER to ASCII*”.

Utilizando um *Arcscript* designado “*ASCII Raster File to XYZ Converter*” foi possível a partir do ficheiro ASCII da TIN, obter-se um ficheiro com coordenadas XYZ formatado como se de um ficheiro ASCII “nativo” se tratasse, ou seja, em que as coordenadas se desenvolvem a partir do canto superior esquerdo. A partir deste ficheiro com as coordenadas XYZ de cada ponto do terreno, separadas por espaço e gravando com a extensão “.asc”, obteve-se o ficheiro de elevações compatível com o ISOP®.

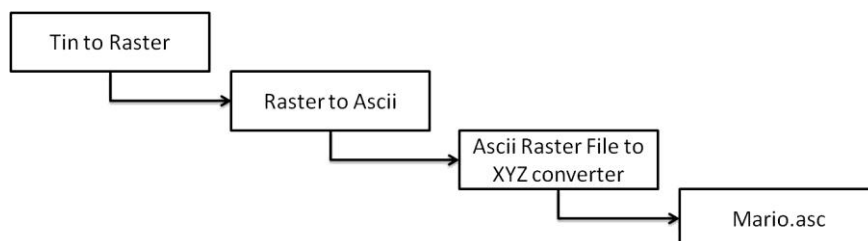


Figura 70 – Esquema de conversões efectuadas.

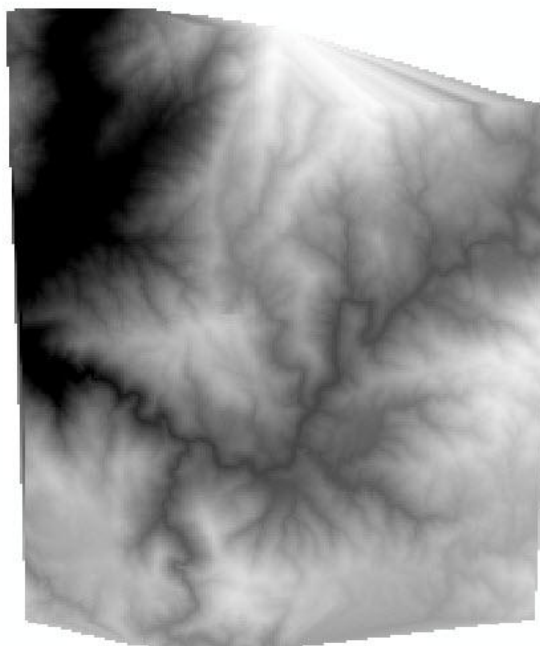


Figura 71 – Raster obtido.

Seguiu-se a etapa mais importante, submeter o projecto criado à ortorrectificação. No ISOP®, este processo ocorre externamente de maneira a poderem realizar-se diversas tarefas no GeoMedia® enquanto decorre o processo de ortorrectificação.

Compete ao utilizador definir o método de interpolação (*Cubic Convolution*, ou convolução cúbica, neste caso), o tamanho do pixel de saída, número de *overviews* a serem usadas e o formato do ficheiro de saída (TIFF no caso em estudo).

Calcularam-se as *seamlines* automaticamente, que definem a linha sobre a qual as fotografias vão ser unidas para gerar o ortomosaico final. As *seamlines* dividem a área do projecto em polígonos que representam as partes das fotografias usadas como “peças” do ortomosaico (Figura 72).

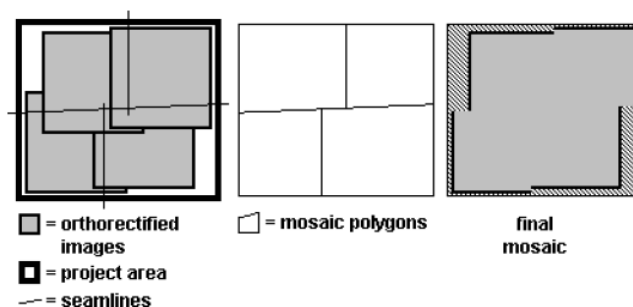


Figura 72 – Diferentes etapas inerentes à criação do ortomosaico.

O utilizador pode definir ou editar os polígonos graficamente ou importando as *seamlines* a partir de um ficheiro *CAD – Computer Aided Design*, tendo em conta que a linha tem de ser atribuída à imagem da esquerda e da direita.

Por último concretizou-se a etapa de criação do ortomosaico. É um processo automático em que o *software* ISOP® executa a harmonização dos tons, constrói o ortomosaico e efectua corte do produto final, tudo num único processo. A harmonização dos tons, consiste na modificação do contraste e do brilho das imagens que compõem o ortomosaico obtendo um produto final com um tom consistente.

No final do processo de criação do ortomosaico, é possível verificar se existe alguma zona isenta de informação (fotográfica ou do ficheiro de elevações), designados por “*black holes*”. Na ausência destes elementos, caso que se verificou, pode passar-se à próxima e última etapa, revisão e edição das propriedades do produto final, onde foi definido o formato do produto final, TIFF, e o directório onde este seria armazenado.

A Figura 73 apresenta o resultado do processo de criação de um ortomosaico a partir das ortofotos da zona de estudo.

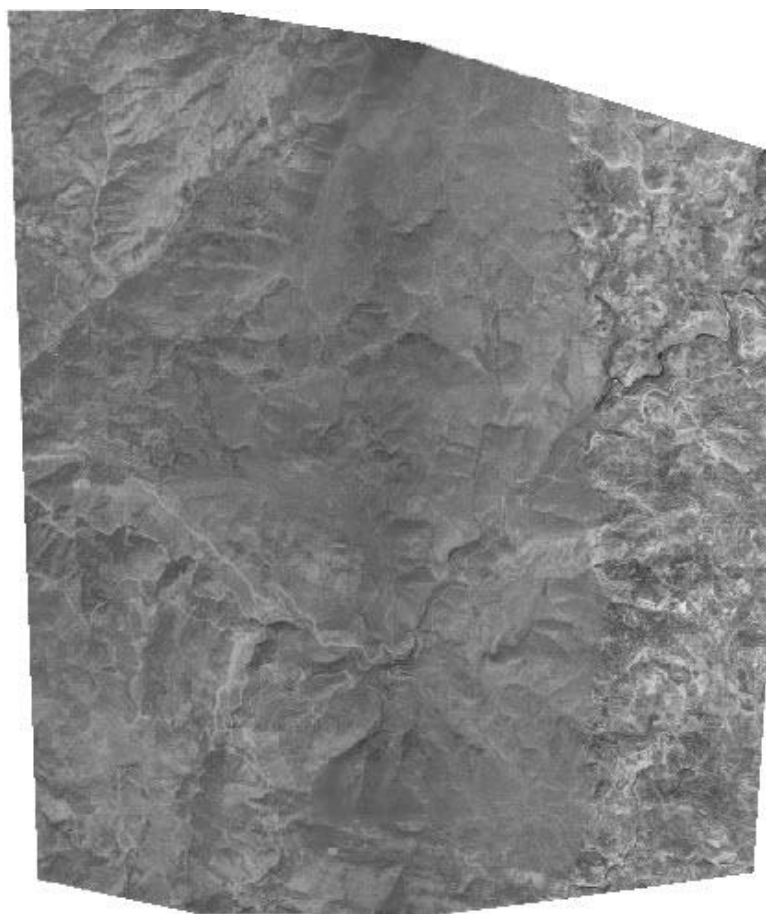


Figura 73 – Ortomosaico do bloco de trabalho.

O ortomosaico, produto da ortorrectificação das fotografias que cobrem a zona de estudo, apresenta, à direita, uma faixa com tonalidade diferente. Este facto deve-se à melhoria de contraste e luminosidade a que as fotografias constituintes da Fiada A, da folha 45, foram submetidas, de maneira a ser possível detectar um maior conjunto de pontos homólogos no *software* ISAT®.

Capítulo 8 - Criação do modelo 3D texturado do terreno

A obtenção do modelo 3D com textura do ortomosaico da área de trabalho desenvolveu-se em três passos: conversão da TIN para o formato *Raster*, carregamento do ortomosaico e atribuição da superfície de elevação ao ortomosaico obtido.

A tarefa foi executada em ambiente Arcscene®, visualizador 3D, adaptado para gerar cenários em perspectiva, que permite interagir e navegar sobre elementos criados tridimensionalmente.

Definiu-se inicialmente o sistema de coordenadas em que foram obtidos os produtos finais (TIN, Ortomosaico da área de estudo): *ETRS_1989_Portugal_TM06*.

Entenda-se por modelo 3D, a visualização do ortomosaico associando-lhe um modelo digital de superfície. Neste caso, o modelo digital de superfície é representado pelo Raster (Figura 71) obtido da conversão da TIN. Em *Base Heights*, nas propriedades do ortomosaico (Figura 74), define-se sobre que superfície de elevação vai ser modelado o mosaico (*Elevation from surface > Floating on a custom surface*), pelo que é imperativo atribuir-lhe o ficheiro Raster da TIN, permitindo uma interacção e navegação mais rápida sobre o modelo que foi criado. A Figura 75 apresenta o antes e o depois da atribuição do modelo digital de superfície ao mosaico criado a partir das ortofotos.

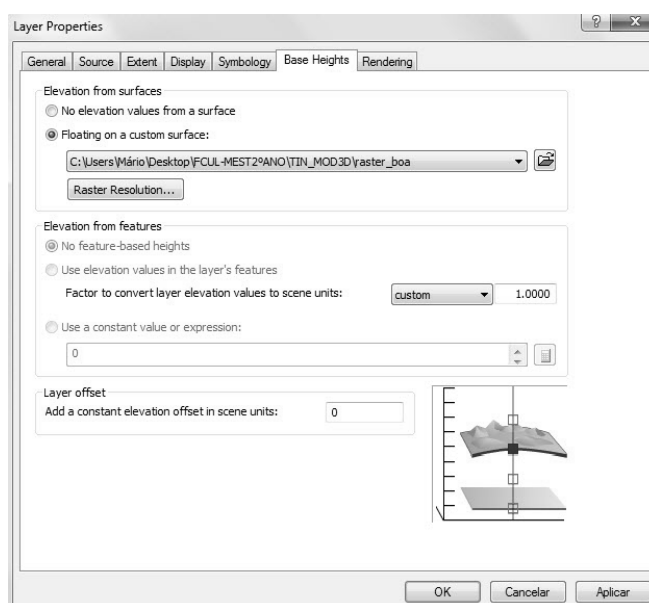


Figura 74 – Atribuição de uma superfície de elevação à *layer* do ortomosaico.

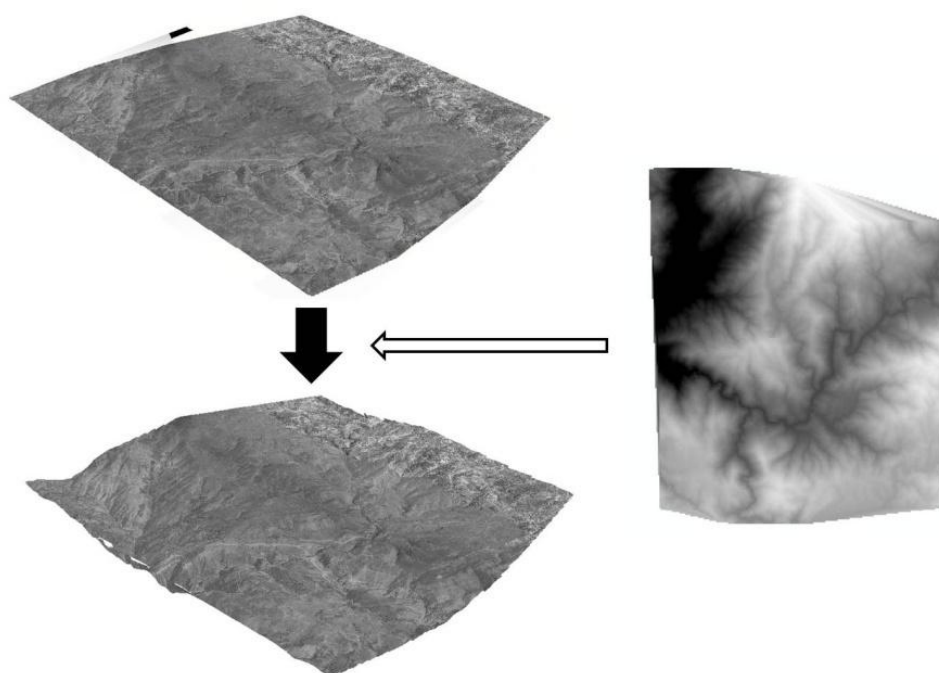


Figura 75 – Antes e depois da atribuição do modelo digital de superfície à *layer* do ortomosaico.

8.1. Simulação das diversas cotas da albufeira

O Arcscene® é uma excelente ferramenta para criar ambientes tridimensionais. Neste caso tentou-se recriar as alterações do nível da água da albufeira nas últimas três décadas, tendo em conta o aquecimento do clima que se tem vindo a verificar. Deste modo intenta-se identificar elementos arqueológicos que foram submersos pela construção da barragem da Venda Nova.

O sítio da internet do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) fornece diversas informações acerca dos recursos hídricos a nível nacional, particularmente, sobre a albufeira da Venda Nova (código da estação 03J/04A), para a qual se necessita dos valores de cota da albufeira.

Considerou-se a série temporal entre o período de 1-1-1983 a 31-12-2011. Optou-se pelo uso da cota média anual visto que, até ao início da década de 90, era efectuada uma medição diária para este valor, o que originaria um “produto visual” muito extenso e sem muita relevância.

A pedido do IGeoE, o senhor Rui Leitão, Director de Área, na Direcção de Projectos e Investimentos, da EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., informou que: *“nos estudos e projectos dos antigos aproveitamentos hidroeléctricos do sistema Cávado”* do qual a barragem da Venda Nova era integrante, *“foi adoptada uma referência altimétrica estabelecida pela então Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos (DGSH). Posteriormente, na década de 60, quando se realizaram estudos para o projecto do Aproveitamento Hidroeléctrico de Vilarinho das Furnas, estes já foram efectuados com base no Referencial Altimétrico Nacional, altura em que se sentiu necessidade de estabelecer uma relação com as cotas até então atribuídas aos elementos de obra dos aproveitamentos hidroeléctricos anteriormente construídos na bacia do Cávado. Considerou-se então que a diferença existente era idêntica em todos eles e da ordem de grandeza de 9.5m, situação que se manteve até à conclusão das obras de reforço de potência da Venda Nova [...] No ano 2008 foi feita uma campanha de observação global (GPS em Modo Diferencial, em Pós-processamento, integrando a observação de pontos da linha de nivelamento de Precisão Braga -> Chaves) que permitiu caracterizar as referências altimétricas materializadas localmente, tendo-se encontrado as seguintes diferenças entre as cotas que estavam em uso nos aproveitamentos e os valores referidos à rede altimétrica nacional: Venda Nova – 9.20m”*.

Rui Leitão refere também que nos novos projectos (Venda Nova II e III e de Salomonde II) as cotas indicadas já se referem ao Sistema Altimétrico Nacional, *“tendo-se procedido à necessária correcção em todos os valores transportados dos correspondentes antigos projectos.”*

Tendo por base esta informação, aos valores de cota de albufeira do SNIRH foi retirado este valor, resultando para toda a série temporal, valores de cota referidos ao Sistema de Referência Altimétrico Nacional.

Deste modo para cada ano da série temporal, calculou-se a média aritmética para a cota da albufeira com a nova referência. A Tabela 12 apresenta as médias calculadas para a série temporal definida.

Tabela 12 - Valores de cota da Albufeira de 1983-2011.

ANO	Cota da Albufeira (m)
1983	686.072
1984	652.951
1985	687.670
1986	686.534
1987	682.901
1988	684.524
1989	687.016
1990	679.128
1991	684.263
1992	688.657
1993	687.612
1994	688.191
1995	688.542
1996	688.862
1997	688.228
1998	688.205
1999	688.636
2000	688.867
2001	674.360
2002	677.586
2003	689.194
2004	686.597
2005	685.573
2006	689.02
2007	687.813
2008	687.149
2009	688.275
2010	685.944
2011	669.42

Com estes dados criou-se em Arcgis® uma *layer* (Figura 76) correspondente à área e forma aproximada da albufeira e exportou-se para o Arcscene®. Deste modo é possível simular as diversas cotas da albufeira, verificando se, actualmente, é possível identificar a olho nu alguns artefactos arqueológicos até então submersos.

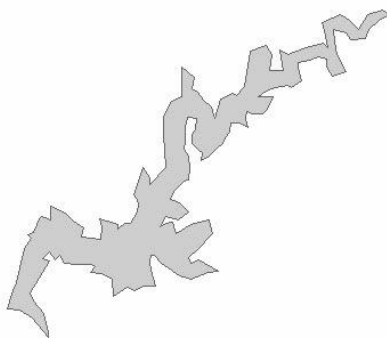


Figura 76 – Layer representando a forma e área da inundação da albufeira da Venda Nova.

Em Arcscene® depois de se importar a *layer* “shape_rio” e o ortomosaico em formato TIFF, criou-se um *Bookmark* para se efectuar a animação relativa à simulação das diversas cotas da albufeira.

A realização da animação teve por base a utilização de dois tipos de *Keyframes*: *Keyframe* de câmara e de camada. No primeiro é controlada a posição da câmara com o tempo, criando uma sensação de navegação. Quanto ao segundo, neste caso, permite atribuir à *layer* diferentes cotas (*Translation Z*) (Figura 77).

Keyframes									
Tracked Time View									
Keyframes of Type: Layer In Track: Layer track 1									
Time	Name	Visibility	Transparency	Translation:X	Translation:Y	Translation:Z	Scale:X	Scale:Y	Scale:Z
5 0.179	1988	Yes	0	0	0	684.524	1	1	1
6 0.214	1989	Yes	0	0	0	687.016	1	1	1
7 0.250	1990	Yes	0	0	0	679.128	1	1	1
8 0.286	1991	Yes	0	0	0	684.263	1	1	1
9 0.321	1992	Yes	0	0	0	688.657	1	1	1
10 0.357	1993	Yes	0	0	0	687.612	1	1	1
11 0.393	1994	Yes	0	0	0	688.191	1	1	1
12 0.429	1995	Yes	0	0	0	688.542	1	1	1
13 0.464	1996	Yes	0	0	0	688.862	1	1	1

Figura 77 – Diversos *keyframes* criados para cada valor de cota de albufeira.

O processo resumiu-se nos seguintes passos:

1. Criação do primeiro *keyframe* de câmara através da ferramenta “*Capture View*”;
2. No “*Animation Manager*” efectuou-se a criação dos *keyframes* para a *layer* “*shape_rio*”, cada um relativo a um só ano da série temporal definida;
3. Inseriu-se a respectiva cota do nível de albufeira relativa a cada ano;
4. Criação de diversos *keyframes* de câmara, de maneira a identificar diversos pormenores existentes na paisagem desde a construção da barragem e simular o efeito de navegação pelo modelo;
5. Definição da duração do vídeo;
6. Exportação do vídeo para formato AVI (*Animation > Export Animation*).

Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados finais de todo o processo realizado no presente estudo, com base nas técnicas de fotogrametria digital.

Como demonstrado anteriormente, a utilização de dados digitais permitiu obter um modelo que representa graficamente o relevo da superfície em estudo, ou seja, o MDS. O relevo é estimado pela sua cota ou altitude, pelo que é possível verificar que as cotas mais baixas correspondem ao antigo leito do rio Rabagão, como apresenta a Figura 66.

Obteve-se também um ortomosaico a partir de imagens rectificadas, que se apresenta na Figura 73.

Como enunciado, um dos objectivos finais deste estudo passa pela recuperação digital do troço em falta da Via Romana XVII, submerso pela construção da barragem da Venda Nova. Os produtos enunciados anteriormente, foram a base deste processo de restituição. O arqueólogo, parceiro neste estudo, trabalhou sobre o ortomosaico da zona em questão, tendo obtido resultados muitos satisfatórios, conseguindo recuperar-se o traçado da Via Romana XVII que se encontra actualmente submerso (Figura 78).

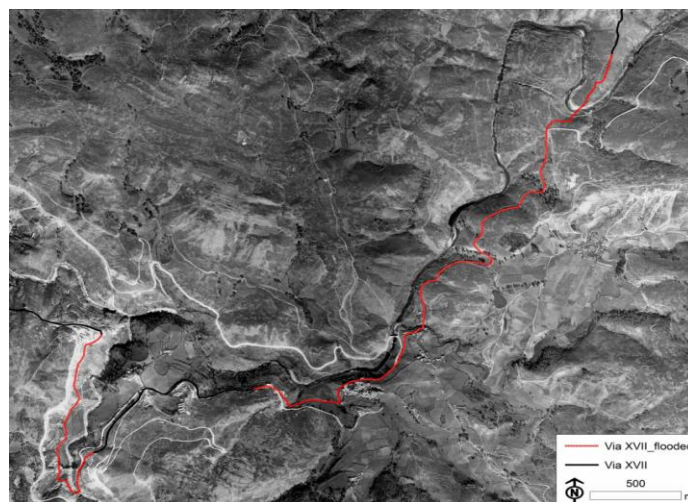


Figura 78 – Reconstrução da Via Romana XVII. (Vermelho) Troço submerso; (Preto) Troço visível actualmente [Fonte et al., 2012].

Importa também com a realização deste estudo identificar elementos da Idade do Ferro cujas estruturas foram particularmente afectadas pela construção da barragem. Neste

caso identificou-se o Castro de Codeçoso (Figura 79), antigo povoado fortificado da Idade do Ferro.



Figura 79 – Castro de Codeçoso em 1949 [Fonte et al., 2012].

Foi também possível identificar uma estrutura que se associa à Via Romana XVII, a ponte romana denominada *Ponte do Arco*, igualmente submersa pelas águas da albufeira da Venda Nova. Na figura 80, inclui-se uma imagem da referida ponte obtida numa época de reduzido nível de água na albufeira.

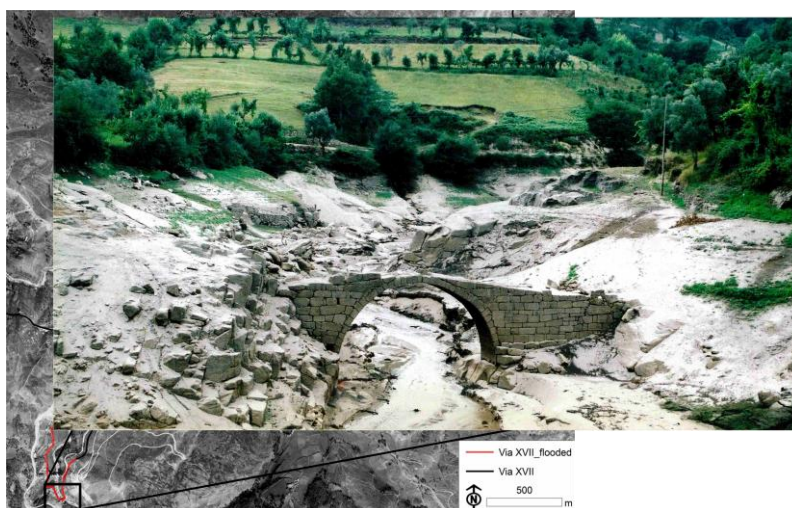


Figura 80 – Ponte do Arco actualmente e a sua localização sobre o ortomosaico [Fonte et al., 2012].

Os resultados apresentados anteriormente, entenda-se Figuras 78, 79 e 80, surgem da parceria com o arqueólogo João Fonte e foram apresentados na comunicação oral no Workshop: III International EARSeL Workshop “*Advances in Remote Sensing for Archeology and Cultural Heritage Management*”, em Ghent, na Bélgica (Anexo J).

A título de curiosidade, efectuou-se uma comparação entre o passado (ortomosaico) e o presente, com o intuito de verificar quais as estruturas e/ou povoações submersas. Visualizando as Figuras 81, 82, 83, 84 é-nos permitido ver alguns dos efeitos que a construção da barragem causou na paisagem, construções e povoações junto às margens do rio Rabagão.



Figura 81 – Povoação submersa aquando da inundação pelas águas da barragem.

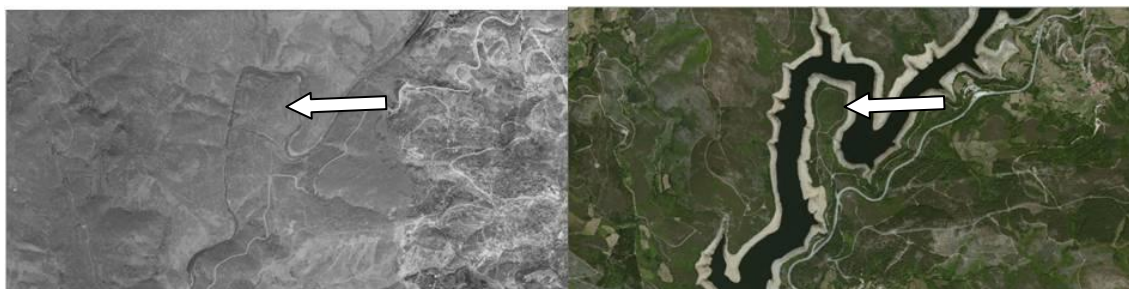


Figura 82 – Castro de Codeçoso (esquerda) antes da inundação, (direita) actualmente.

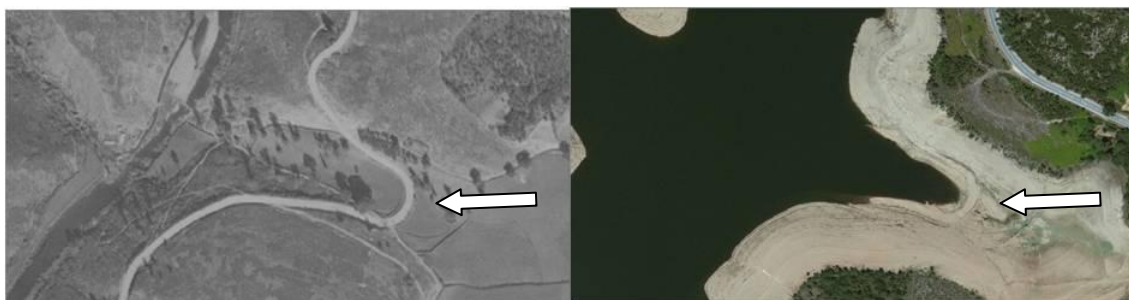


Figura 83 – Antigas vias outrora submersas, agora visíveis dado a redução do nível da água.



Figura 84 – Reduzido nível das águas permite identificar antigas estruturas.

Conclusão

No presente estudo foram aplicados a maior parte dos processos constituintes de um projecto fotogramétrico, exceptuando a etapa de planeamento e realização do voo, a cargo dos Serviços Cartográficos do Exército na década de quarenta. Foram coordenados pontos fotogramétricos no terreno, efectuou-se a triangulação automática com base nestes mesmos pontos e obtiveram-se um modelo digital de superfície e um ortomosaico da zona em estudo, com base na ortorrectificação das fotografias aéreas utilizadas.

No final deste trabalho e como síntese, é possível afirmar que as fotografias aéreas antigas têm um papel extremamente importante na recuperação de dados arqueológicos. Através da aplicação das técnicas da fotogrametria digital, sobre as fotografias da cobertura realizada em 1949, foi possível recuperar os aspectos da paisagem antes da construção da barragem da Venda Nova, recuperar o traçado da Via Romana XVII hoje submerso e identificar ainda alguns elementos da Idade do Ferro, como a Ponte do Arco e o Castro de Codegoso.

Embora as fotografias remontem aos anos quarenta, a sua restituição fotogramétrica para estudos de paisagens antigas, particularmente as irreversivelmente alteradas, adquiriu neste trabalho um elevado potencial. Foi possível reconstruir a estrutura física e visual da paisagem, produzindo produtos fiéis, tais como, modelos digitais de superfície e ortofotos. Estes produtos podem ainda ser usados para restituição ou serem integrados num sistema de informação geográfica para análises futuras.

Os produtos obtidos, MDS e ortomosaico, foram aplicados numa demonstração interactiva da antiga paisagem, através da criação de um modelo tridimensional com textura real, facto que tornou o estudo mais interessante e aliciante. Possuindo registos acerca das cotas dos níveis de água armazenada pela albufeira, nos últimos trinta anos, foi ainda criado um vídeo capaz de simular as variações do nível da água ao longo destas décadas. O vídeo incidiu sobretudo sobre os elementos que se encontravam submersos e que hoje se podem identificar presencialmente a olho nu, bem como sobre as construções e povoações inundadas pelas águas da barragem.

A recuperação do traçado da Via Romana XVII submerso, tal como a identificação de alguns elementos arqueológicos, foi possível graças à parceria com o arqueólogo João

Fonte, que, tendo como material base de trabalho o MDS e o ortomosaico, recuperou digitalmente o traçado submerso, dando continuidade ao já existente, resultado apresentado na secção dos *Resultados*.

O objectivo principal expresso inicialmente foi alcançado, aplicando técnicas de fotogrametria digital aos negativos das fotografias aéreas da cobertura efectuada pelos Serviços Cartográficos do Exército, no ano de 1949. Este facto permite demonstrar e enfatizar o contributo destas técnicas na restituição de paisagens alteradas, nomeadamente, paisagens submersas por albufeiras, como é o caso particular da construção da barragem da Venda Nova, no concelho de Montalegre.

Referências Bibliográficas

Afonso, A.J.G. (2010) *A Rede “SERVIR” do IGeoE para “SERVIR” os Engenheiros de Portugal*.

Aires, G.S. (2010) *Estimação de Movimento de uma Câmara Via Geometria Epipolar*, Tese de Mestrado, Texto não publicado, Coppe – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro.

Beinke, B. (2010) *The Rotation Widget vs Editing Values*, acessado em Agosto 2012, em: <http://bethbeinke.com/blog/2010/05/the-rotate-widget/>.

Brito, J.N., L. Coelho (2002) *Fotogrametria Digital*. 1.^a edição, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

Casaca, J., J. Matos e M. Baio (2005) *Topografia Geral*. 7.^a Edição, Edições Lidel, Lisboa.

Catalão, J. (2010) *Projeções Cartográficas*, Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Coelho, L, J. Brito (2009) *Fotogrametria Digital*. Ed uerg, Rio de Janeiro.

Cuenca, H.C. (2011) “*Recorriendo un territorio desaparecido: restitution fotogramétrica y analisis del paisaje de la necrópolis prehistórica del Vado de Alconetar*”. Tecnologias de informacion geográfica y análisis arqueológico del território – Actas del V Simposio internacional de arqueologia de Mérida ,Eds. V.M. Herrera e S.C. Pérez, Instituto de Arqueología de Mérida, Mérida, 2011, Archivo Español de Arqueologia, Mérida, pp.145-159.

Derenyi, E.E., (1996) *Photogrammetry: The Concepts*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada.

Dias, F.F., Santos, D.S. (2011) *Uso de Anaglifos como Alternativa para Práticas de Estereoscopia em Sensoriamento Remoto*, Anuário do Instituto de Geociências, vol. 34, nº2, Rio de Janeiro.

Dias, M.H., Rossa, J.M.D.R. (2007) *Dos Serviços Cartográficos ao Instituto Geográfico do Exército: 75 anos de actividade a servir Portugal (1932-2007)*. Edições do Estado Maior do Exército, Lisboa.

- Duarte, A.A. (2004) *A Fotogrametria a curta distância como uma ferramenta de documentação nas inscrições*. Texto não publicado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- IGeoE (2008) *SERVIR News - Boletim Informativo do Projecto SERVIR nº3*, Portugal.
- IGeoE (2000) *Manual de Procedimentos*. Texto não publicado, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- Intergraph (2009) *PhotoScan – Photo Digitizing System User's Guide*, Z/I Imaging Corporation, Madison.
- Intergraph (2008) *ImageStation Automatic Triangulation (ISAT) – User's Guide*, Z/I Imaging Corporation, Madison.
- Intergraph (2008a) *ImageStation Automatic Elevations (ISAE) – User's Guide*, Z/I Imaging Corporation, Madison.
- Fonte, J., Filipe, M., Gonçalves, J.A., Lobos, L., Redweik, P. (2012) *Recovering missing landscapes through historical aerial images*, Third EARSeL Workshop on Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management, Ghent, Belgium, 19 – 22 September, 2012.
- Jibao, L., Jun, L., Li, T. (2008) “*Discussion of GPS Supported Automatic Triangulation base on the DMC Images*”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 37, Part B4, Beijing.
- Madani, M. (1999) *OrthoPro: The Z/I Imaging Approach for the Orthophoto Production*, Photogrammetric Week ‘99’, pp. 247 – 258, Hunstville.
- Marques, A.M.G. (2009) *Recuperação Radio-Geométrica e Catalogação Digital de Coberturas Aéreas Antigas da Zona de Lisboa*, Tese de Mestrado, Texto não publicado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Município de Montalegre (2012) “Venda Nova – Memórias Submersas”. *Montalegre Notícias*, Notícia 1571, pp.1-2. <http://www.cm-montalegre.pt> (acedido em Março 2012)
- Oliveira, M.M., Ed. Caroline Soudant, (2008) *A Documentação como Ferramenta de Preservação da memória*. Cadastro, Fotografia, Fotogrametria e Arqueologia, Cadernos Técnicos 7, Brasília.

Oliveira, E.B. (2003) *Implementação do Módulo de Intersecção Fotogramétrica em um Banco de Imagens Georreferenciadas*, Dissertação Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente, Brasil.

Osório, M., T. Salgado (2007) *Praxis Archaeologica. Revista de Teoria, Metodologia e Política da Arqueologia* N.º 2, pp.11-21.

Redweik, P., (2011) *Produção Cartográfica*. Texto não Publicado Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Redweik, P. (2010) *Fotogrametria Analítica*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Redweik, P. (2008) *Fotogrametria Terrestre*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Redweik, P. (2007) *Fotogrametria Aérea*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Resende, V.S. (2008) “Fotogrametria Digital e Património Histórico: uma proposta metodológica”. *Forum Património*, Vol.2, N.º 2, pp. 64-89.

Ribeiro, J.C. (s.d.) *Fotogrametria Digital*. Texto não publicado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Rocha, C.H., J.L. Piorno, R.R. Freire (s.d.) *Uma discussão histórica sobre a Fotogrametria*. Texto não publicado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sequeira, F.M. (2006) *A Fotogrametria aplicada ao estudo multi-temporal de movimentos de vertente*, Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, Faculdade de Ciências, Departamento de Matemática, Universidade de Lisboa, Portugal.

Schenk, T., (2005) *Introduction to Photogrammetry*, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus.

Tommaselli, A. M. G., Silva, J. F. C., Hasegawa, J. K., Galo, M.; Dal Poz, A. P. (1999) *Fotogrametria: Aplicações a curta-distância*,. Meneguete Jr, M.; Alves, N., FCT 40 anos – Perfil Científico – Educacional, 1999, Presidente Prudente SP, pp. 147-159.

Walstra, J. (2006) *Historical Aerial Photographs and Digital Photogrammetry for Landslide Assessment*, Loughborough University, Leicestershire, Inglaterra (United Kingdom).

Bibliografia

Aero Clube de Portugal (1947), *Revista do Ar*, Ano 10, nº 100, Portugal.

Baptista, J.D. (2006) *Montalegre*. Município de Montalegre, Montalegre, Portugal.

Costa, P.M.C. (2010) “Curso de Fotogrametria 2010”, *Boletim do ano 2010 do Instituto Geográfico do Exército*, Nº 72, pp. 38-45.

Kol, H., Pereira, H., Pinto, J., Ribeiro, H. (2002) *TranscoordPro: um utilitário para Transformação de Coordenadas*, Texto não publicado, Lisboa.

Matos, J. (2001), *A Engenharia Geográfica nos séculos XIX e XX*.

Ruy, R. S. (2010) *Aerofogrametria – Noções gerais, processos e aplicações*. Texto não editado. CETEC.

Velosa, J.M. (2009) *Os efeitos das grandes barragens no desenvolvimento socioeconómico local*. Texto não publicado. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Sítios da internet consultados

Câmara Municipal de Montalegre: <http://www.cm-montalegre.pt> (acedido em Março de 2012).

Ecomuseu (2007), *Via Romana XVII*: <http://www.ecomuseu.org/Ingles/turismo/> (Acedido em Setembro de 2012) .

Estereofoto (s.d.): <http://www.estereofoto.pt/index.asp?objid={8347C70B-352E-409B-9FEE-9636C139A7FD}> (acedido em Julho de 2012).

Instituto Geográfico do Exército: <http://www.igeoe.pt> (acedido em Julho 2012).

Junta de Freguesia de Venda Nova: <http://www.freguesiadevendanova.pt> (acedido em Março de 2012).

Portal do arqueólogo (s.d.), *Montalegre – Via XVII*: <http://arqueologia.igespar.pt/?sid=sitios.resultados&subsid=2349128&vt=2349133> (acedido em Setembro de 2012).

SNIRH: http://snirh.pt/index.php?idRef=MTE3Nw==&simbolo_redehidro=03J/04A (acedido em Agosto de 2012).

Via XVII: <http://www.vieiraminhoturismo.com/> (acedido em Setembro de 2012).

Via Romana (Calçada) de Currais: <http://www.igogo.pt/via-romana-calcada-de-currais/> (acedido em Setembro de 2012).

Anexos

Anexo A - Tabelas de imóveis urbanos e infraestruturas mais significativas submersas pela albufeira.



APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DE VILA NOVA / VENDA NOVA				
CONSTRUÇÕES SUBMERSAS PELA ALBUFEIRA NO TERRITÓRIO DA FREGUESIA DE VENDA NOVA E DESLOCALIZAÇÃO DOS OCUPANTES (PONTO DA SITUAÇÃO EM 04 DE OUTUBRO DE 1950)				
PARCELA Nº	PROPRIETÁRIO	OCUPANTE	LOCAL DA NOVA MORADA	OBSERVAÇÕES
18	Domingos Magalhães	G. N. R.	Padrões	vantagem comercial
25	António Silva Lopes	vago	-----	-----
71 a 74A e 79A	Casa dos Padrões	os próprios	Braga	Compra de uma quinta
158, 162 e 229	Manuel Gonçalves Pereira	os próprios	Nova Venda Nova	bens dos próprios
162, 168, 171	Artur Gonçalves Pereira	o próprio e outro	Chaves	Compra de uma quinta
247, 253 e 362	(habitação e comércio)			
166	Ana Alvares Pereira	Campos Carvalho	-----	bens próprios
167 e 173	Maria Benta de Carvalho	a própria	Nova Venda Nova	bens próprios
174, 246 e 260	Viação Auto-Motora	diversos	Junto da E. N. 103	função comercial
176 e 245	Felisberta Rosa de Faria	os próprios	Junto da E. N. 103	bens próprios
191	Domingos Afonso das Neves	o próprio	Codeçoso	bens próprios
188, 192 a 194, 198 e 305	Conceição Alves e Filhos	os próprios	em área não urbanizada	bens próprios
207	Senhorinha Fernandes	inquilino	Amear	bens próprios
226	Manuel José Moura	o próprio	Junto à E. N. 103	-----
237, 300, 312, 318 e 324	Domingos Fernandes	o próprio	Parada de Bouro	comprou uma quinta
238 e 286	Clemente Fernandes	o próprio	Codeçoso	bens próprios
243	Teresa Jesus Alves	Pinto	Amear	bens próprios
244	Raul José Alves	o próprio	em área não urbanizada	
248	Albino Fernandes	vaga	Codeçoso	bens próprios
251	Alberto Machado	o próprio	Cambedo	bens próprios
252	Carlos Machado	vaga	Pondras	já lá vive
256	Fausto Figueiredo	próprio	Nova Venda Nova	bens próprios
258	Junta de Freguesia	professora primária	Nova Venda Nova	
259	José M. Gonçalves e Filhos	os próprios	Nova Venda Nova	
261 a 267	Vários	os próprios	já mudaram	
294, 297, 301, 306 e 326	Domingos Alves Pereira	o próprio	Nova Venda Nova	bens próprios
295 e 317	António Fernandes Félix	o próprio	em área não urbanizada	
298	Senhorinha Fernandes	a própria	junto à E. N. 103	
302	Abel Fernandes	o sogro	-----	em expropriação
303	Maximino Piedade	o próprio	junto da albufeira	já lá vive
304	Júlia Afonso	a própria		
307	Manuel Alves	o próprio	Póvoa de Lanhoso	bens próprios
308	Luíza Alves	a própria	junto a E. N. 103	bens próprios
309	Senhorinha Barroso	a própria	Calvário	bens próprios
313	Domingos Gonçalves	o próprio	em área não urbanizada	já lá vive
314	António Fernandes Santos	praça da G.N.R.	junto à albufeira	já lá vive
315	Glória Pereira	a própria	Dornário	bens próprios
316A, 322 e 323	Afonso F. Campos e Irmão	os próprios	Codeçoso	já lá vivem
321	Ermezinda Gonçalves	ocupado pela HICA	desconhecido	
344	Ramiro Gonçalves Martins	o próprio	Nova Venda Nova	já lá vive
359	António Ferreira Alves	ocupado pela HICA	desconhecido	

PHSB-AF
Dezembro/2003

APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DE VILA NOVA/VENDA NOVA

Identificação de alguns dos imóveis urbanos e infraestruturas mais significativas localizadas em território da **Freguesia de Venda Nova**, entretanto submersos pela albufeira.

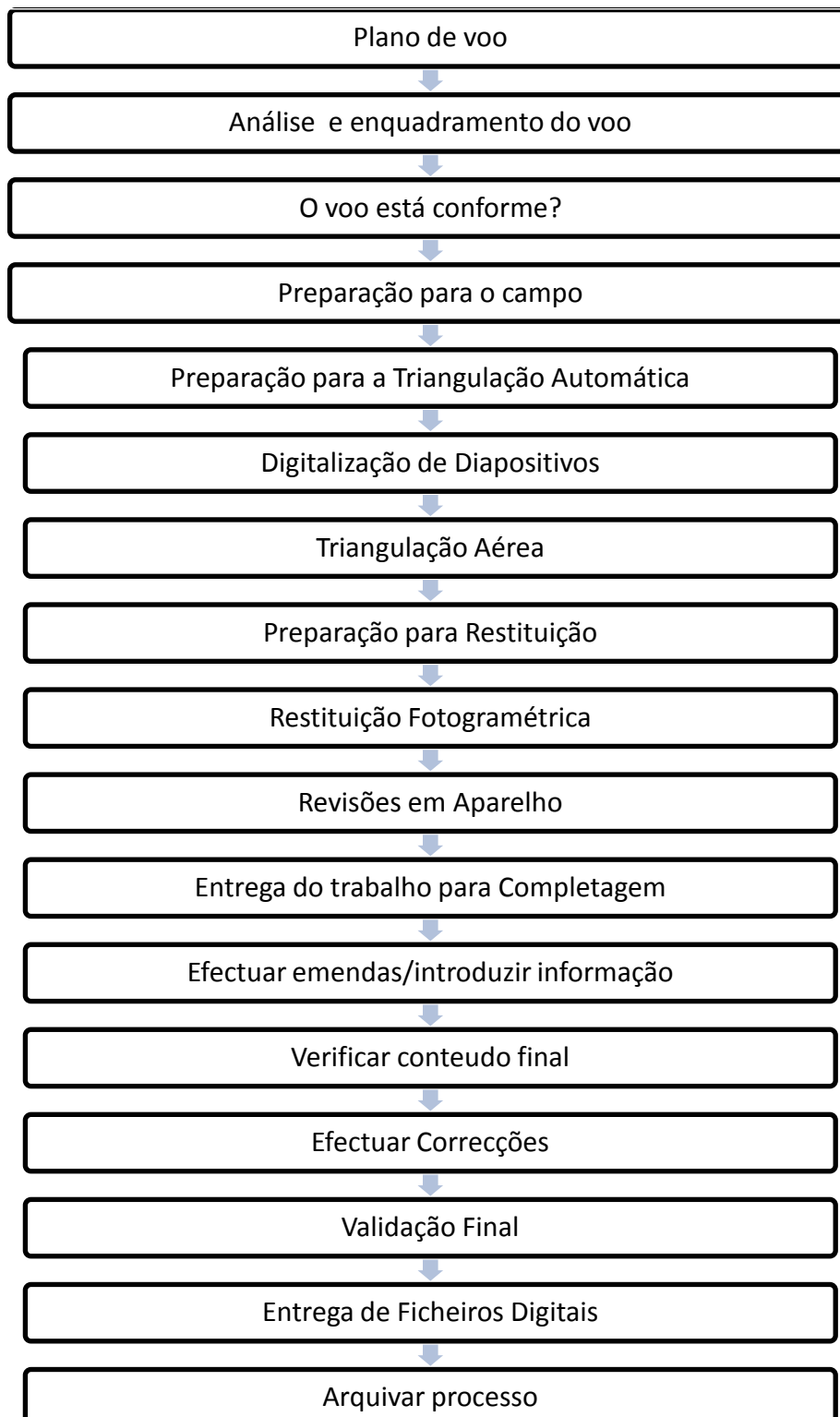
Parcela 75	Central Hidroeléctrica dos Padrões Propriedade da então "Sociedade Mines de Borralha"
Parcela 79,4	Faixa junto à E.N. 103 com 3000m ² e Barracão no término da levada (Companhia das Quedas de Água do Norte de Portugal)
Parcela 157	Propriedade da Igreja Paroquial (Passal)
Parcela 166	Comércio (Ana Glória Alvares Pereira)
Parcela 167	Centro Comercial da Venda Nova (Maria Benta de Carvalho)
Parcela 168	Casa que servia de matadouro (Artur Gonçalves Pereira)
Parcela 171	Aproveitamento Hidroeléctrico (Artur Gonçalves Pereira)
Parcela 174	Escritório da Empresa de transportes colectivos de passageiros "Viação Automotora" e Farmácia
Parcela 182	Carro de Aluguer Correspondência bancária Comércio diverso (mercearia Barrosã/Casa do Tem Tudo de Manuel Gomes Pereira)
Parcela 186	Aproveitamento Hidroeléctrico (Manuel Gonçalves Pereira)
Parcela 244	Pensão (Raul José Alves)
Parcela 245	Pensão (Felsberta Rosa de Faria) Construções provisórias para os feirantes
Parcela 246	Casa do médico (consultório do Dr. Aníbal Pereira da Silva)
Parcela 247	Talho (Artur Gonçalves Pereira)
Parcela 248	Oficina de bicicletas (Albino Fernandes)
Parcela 250	Edifício onde funcionava a escola primária, construído pelo Sr. Carlos Machado em terreno cedido pela Junta de Freguesia.
Parcela 251	Casa da padaria (Alberto Carlos Pereira Machado)
Parcela 258	Casa da professora (Junta de Freguesia de Venda Nova)
Parcela 259	Casa do Ferreiro (José Maria Gonçalves) Casa de Pasto
Parcela 260	Garagem da empresa de transportes colectivos de passageiros "Viação Automotora"
Parcela 292	Residência Paroquial
Parcela 293	Igreja de S. Simão
Rede de distribuição de água (pública e privada)	Abastecia 3 fontanários e meia dúzia de casas particulares e era constituída por: captação numa mina; depósito; 620 metros de tubo em fibrocimento de Ø 2"; 133 metros de tubo de ferro Ø 1".
Levada (Regadeira)	Em regime de Consortes, com uma extensão de 2.500 m, que derivava água do rio da Borralha, captada nas imediações da Central da Mesa do Galo, e permitia a rega em cerca de 20 hectares. Esta levada também alimentava entre outros a Central Hidroeléctrica dos Padrões (parcela 75) e Molinhos da Quinta dos Padrões.

PHSB-AF
Novembro/03

APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DE VILA NOVA /VENDA NOVA			
MOINHOS SUBMERSOS PELA ALBUFEIRA NO TERRITÓRIO DA FREGUESIA DE VENDA NOVA			
LINHA DE ÁGUA	SUPERFÍCIE COBERTA (m²)	TIPO DE CONSTRUÇÃO	OBSERVAÇÕES
RIBEIRA COVELAS	15	PEDRA E COLMO	
” “	16	” “	
” “	18	” “	
” “	16	” “	
RIBEIRA VILA NOVA	?	PEDRA E TELHA	Adaptado para gerar electricidade
” “ “	16	” “	
RIO RABAGÃO	28	PEDRA E COLMO	Com dois casais de mós Com dois casais de mós
” “	26	” “	
” “	18	” “	
LEVADA EM PADRÕES	26	PEDRA E TELHA	
” “ “	25	PEDRA E COLMO	

PHSB/AF
Dezembro/2003

Anexo B – Diagrama de Actividades da Secção de Fotogrametria do IGeoE [IGeoE, 2000].



Anexo C – Histórico da Fotogrametria [Brito, 2002].

Fotogrametria	Entrada	Processamento	Saída
Analógica	Foto analógica (em filme)	Analógico	Analógica (<i>scribes</i> /fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo no presente)
Analítica	Foto analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (<i>scribes</i> /fotlitos)no passado ou digital (CAD, por exemplo no presente)
Digital	Imagem digital (obtida de câmara digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um <i>scanner</i>)	Analítico (computacional)	Digital

Anexo D – Cálculos efectuados para determinação das dimensões das fotografias no terreno.

Diapositivo		Flada	Sentido	CP		M	P	D _{disparativa} (m)	D _{carta} (m)	E _{média}	H _{base_média} (m)	MédiaE	MédiaH_voo (m)	TamanhoF_ terreno (m)	GSD (m)
15	G	↑		211474.866	521070.624	0.008	151.563	18945.375	3872.435	18161.800	3712.272	3269.124	0.381		
16				211474.072	522104.088										
17				211493.968	523278.709										
18				211502.171	524475.712										
19				211395.464	525700.815										
20				211424.304	526734.685										
21				211268.49	527862.209										
22	H	↓		211234.089	528925.638	0.013	269.915	20762.692	4243.894					18429.714	3767.034
54				212835.885	528623.911	0.005	84.095	16819.000	3437.804						
55				212656.391	527629.944										
56				212740.873	526697.075										
57				212585.112	525578.467	0.007	140.283	20040.429	4096.264		0.387				
58				212632.138	524622.631										
59				212637.332	523631.641										
60				212685.249	522665.593										
61				212704.375	521720.936										
62				212591.61	520752.135										
69	I	↑		215161.168	521572.636	0.013	179.617	13816.692	2824.132	16191.402	3309.523	2914.452	0.340		
70				215068.763	522525.288										
71				215148.36	523523.342										
72				215022.021	524539.014	0.018	334.190	18566.111	3794.913					0.340	
73				215090.35	525495.473										
74				215029.707	526434.243										
75				214871.573	527689.562										
25	A	↓		216528.196	528479.029	0.039	659.449	16908.949	3456.189	17548.247	3586.862	3158.684	0.369		
26				216389.189	527620.375										
27				216464.172	526838.794										
28				216578.869	525849.912	0.011	200.063	18187.545	3717.534					0.369	
29				216622.129	525117.015										
30				216546.552	524082.122										
31				216745.748	523247.008										
32				216505.794	522279.023										
33				216411.378	521277.346										
34				216349.972	520682.121										
Médias Totais												17582.791	3593.922		

Anexo E – Centros de Projecção aproximados das fotografias das quatro fiadas (Sistema de coordenadas Hayford-Gauss Militar Datum Lisboa).

CP			
	Diapositivo	Fiada	P (m)
44	15	G	211474.866
	16		211474.072
	17		211493.968
	18		211502.171
	19		211395.464
	20		211424.304
	21		211268.49
	22		211294.089
	54	H	212835.885
	55		212656.391
	56		212740.873
	57		212585.112
	58		212632.138
	59		212637.332
	60		212685.249
	61		212704.375
	62	I	212591.61
	69		215161.168
	70		215068.763
	71		215148.36
	72		215022.021
	73		215090.35
	74		215029.707
	75		214871.573

45	25	A	216528.196	528479.029
	26		216389.189	527620.375
	27		216464.172	526838.794
	28		216578.869	525849.912
	29		216622.129	525117.015
	30		216546.552	524082.122
	31		216745.748	523247.008
	32		216505.794	522279.023
	33		216411.378	521277.346
	34		216349.972	520682.121

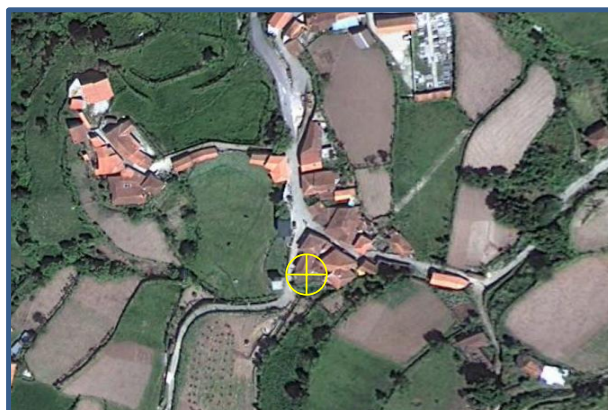
PF 101

(EV Chaves SERVIR)

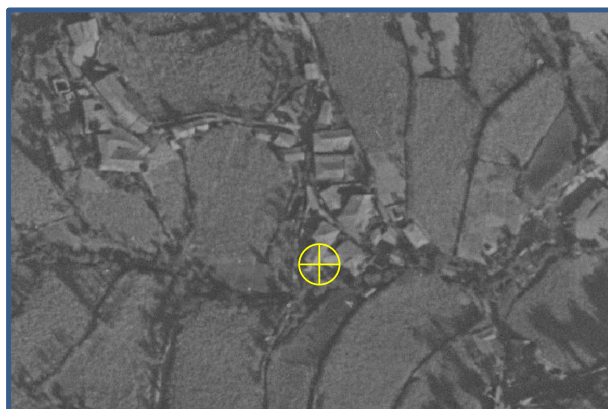
M = 12648.678 m

P = 227619.221 m

H = 593.943 m



Canto do beirado
mais a sudeste
Perto de Cruzeiro
principal em Covelo



Sistema de
coordenadas:
ETRS89 PT-TM06
Utilizado: SIM



PF 102

(EV Chaves SERVIR)

M = 12230.423 m

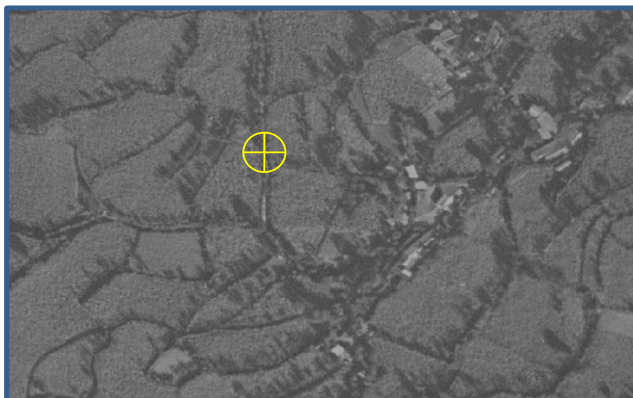
P = 227305.794 m

H = 525.578 m

Intersecção de estradas de terra e alcatrão. Margem esquerda da estrada de terra.

-Sistema de coordenadas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: NÃO
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 103

(EV Chaves SERVIR)

M = 10895.857 m

P = 225109.180 m

H = 628.625 m

Canto de Muro mais
a Noroeste
Próximo da estrada

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06
Utilizado: SIM
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 104

(EV Chaves SERVIR)
M = 10245.157 m
P = 222613.975 m
H = 822.536 m

Canto de Canastro a
SE
Virado para a Igreja
Matriz

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06
Utilizado: SIM
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 105

(EV Chaves SERVIR)

M = 11692.353 m

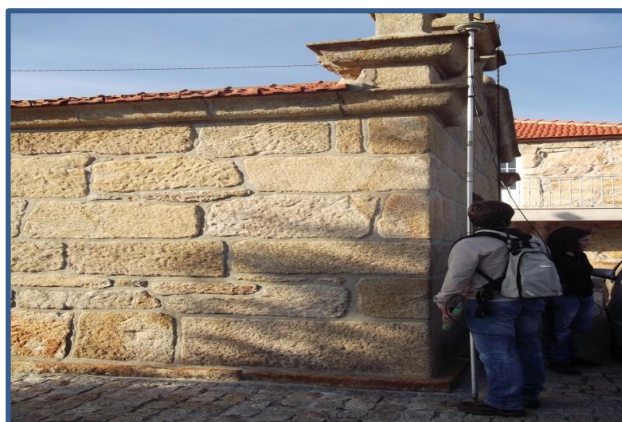
P = 221432.996 m

H = 855.937 m

Canto SE do beirado
de Capela

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: SIM
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 106

(EV Chaves SERVIR)
M = 14356.743 m
P = 226373.327 m
H = 806.285 m

Canto Norte do
beirado de capela
Tem próximo um
canastro

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06
Utilizado: SIM
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 107

(EV Chaves SERVIR)

M = 13120.414 m

P = 225374.949 m

H = 802.966 m

Canto NO de beirado
de casa alta

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: Não
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 108

(EV Chaves SERVIR)

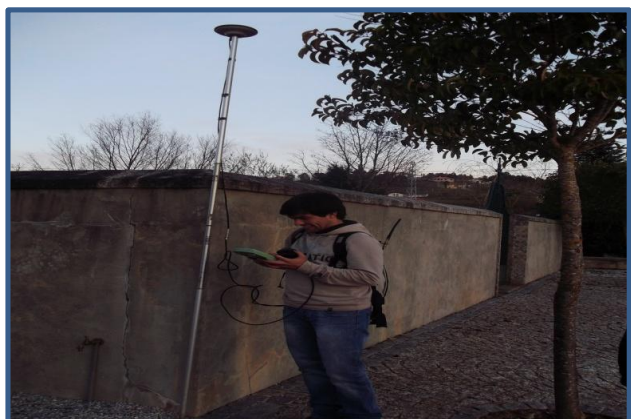
M = 14580.998 m

P = 222547.065 m

H = 745.763 m

Canto do muro de
alvenaria, do lado
direito da igreja

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06
Utilizado: SIM/NÃO
Mét. Observação:
RTK



PF 109

(EV Chaves SERVIR)

M = 16343.485 m

P = 222094.367 m

H = 839.464 m

Vértice de Muro de
alvenaria. Entrada
para propriedade
privada

-Sistema de
coordendas: ETRS89

PT-TM06

Utilizado: SIM

Mét. Observação:

Rápido estático



PF 110

(EV Chaves SERVIR)

M = 17629.279 m

P = 221139.020 m

H = 929.043 m

Vértice a NO do
beirado de casa
baixa

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: SIM

Mét. Observação:

Rápido estático



PF 111

(EV Chaves SERVIR)

M = 16585.023 m

P = 225069.246 m

H = 762.870 m

Vértice SW do
beirado de casa alta

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: SIM

Mét. Observação:

Rápido estático



PF 112

(EV Chaves SERVIR)

M = 16221.5617 m

P = 226237.6307 m

H = 719.0194 m

Intersecção entre
muro de suporte e
divisor de
propriedades

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: Não
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 113

(EV Chaves SERVIR)

M = 16594.056 m

P = 227131.549 m

H = 816.611 m

Intersecção entre
muro de suporte e
divisor de
propriedades

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: SIM
Mét. Observação:
Rápido estático



PF 114

(EV Chaves SERVIR)

M = 17708.623 m

P = 227808.005 m

H = 796.045 m

Vértice de beirado a
NW, casa alta

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06

Utilizado: SIM

Mét. Observação:
Rápido estático



PF 116

(EV Chaves SERVIR)

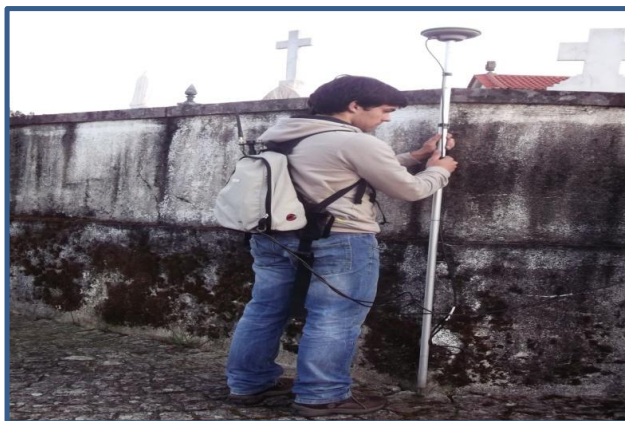
M = 14585.639 m

P = 222598.622 m

H = 743.957 m

Vértice de muro de
alvenaria de
cemitério. Diagonal
com PF108

-Sistema de
coordendas: ETRS89
PT-TM06
Utilizado: SIM
Mét. Observação:
RTK



**SISTEMA DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA GNSS PARA RTK
(PROJECTO SERVIR)**

1. IDENTIFICAÇÃO DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA GNSS

- a. Nome: Chaves
- b. ID: CHAV
- c. Código: 17
- d. Descrição do suporte: Mastro em ferro com 2"
Cravado em parede de edifício
Centragem forçada
- e. Data da instalação: Dez 2006



2. INFORMAÇÃO DO LOCAL DA ESTAÇÃO

- a. Local: Regimento de Infantaria Nº 19
- b. Cidade: Chaves
- c. Distrito: Vila Real
- d. Placa Tectónica: EURÁSIA
- e. Coordenadas da rede SERVIR: WGS84 / ITRF 2005

Coordenadas Geodésicas Rectangulares (Cartesianas)	
X (m)	4725265.33361
Y (m)	-619800.30177
Z (m)	4225375.60055

ATENÇÃO: A rede SERVIR emite correcções diferenciais no referencial ITRF2005. As Altitudes fornecidas pela rede SERVIR são Elipsóidais. Não são Ortométricas (COTA).

O IGeoE aconselha os utilizadores a efectuarem uma calibração local, no sistema de coordenadas pretendido, antes de realizarem qualquer trabalho com os dados desta rede de estações de referência GNSS.

3. INFORMAÇÃO DO RECEPTOR GNSS

- a. Tipo de receptor: Trimble NetR5
- b. Constelação de Satélites: GPS + GLONASS
- c. Nº de Série: 4645K02960
- d. Versão de Firmware: 3.6 actualizado em Jun de 2008
- e. Fonte de Energia: Principal – corrente eléctrica 220v
Secundária – UPS com capacidade de 30 min
- f. Ângulo de Máscara: 5º

4. INFORMAÇÃO DA ANTENA

- a. Tipo: Zephyr™ Geodetic Model 2
- b. Nº Série: 30278626
- c. Nomenclatura: TRM55971.00
- d. Orientação: Encaixe do cabo de antena virado para o Norte Geográfico (verdadeiro)
- e. Cabo de antena: tipo – LMR400
Comprimento: 30 m
- f. Data de Instalação: Dez 2006

5. OUTROS INSTRUMENTOS

- a. Para raios no local;
- b. Estações Meteorológicas: Existe a possibilidade de integrar este tipo de equipamento. Actualmente não há qualquer equipamento instalado para recolha deste tipo de dado.

6. MÉTODO DE POSICIONAMENTO

- a. Método Topográfico: GNSS Permanente
- b. Recolha de dados: Julho 2008
- c. Processamento: Cálculo efectuado utilizando o GAMIT/GLOBK, em colaboração com a FCUL (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)

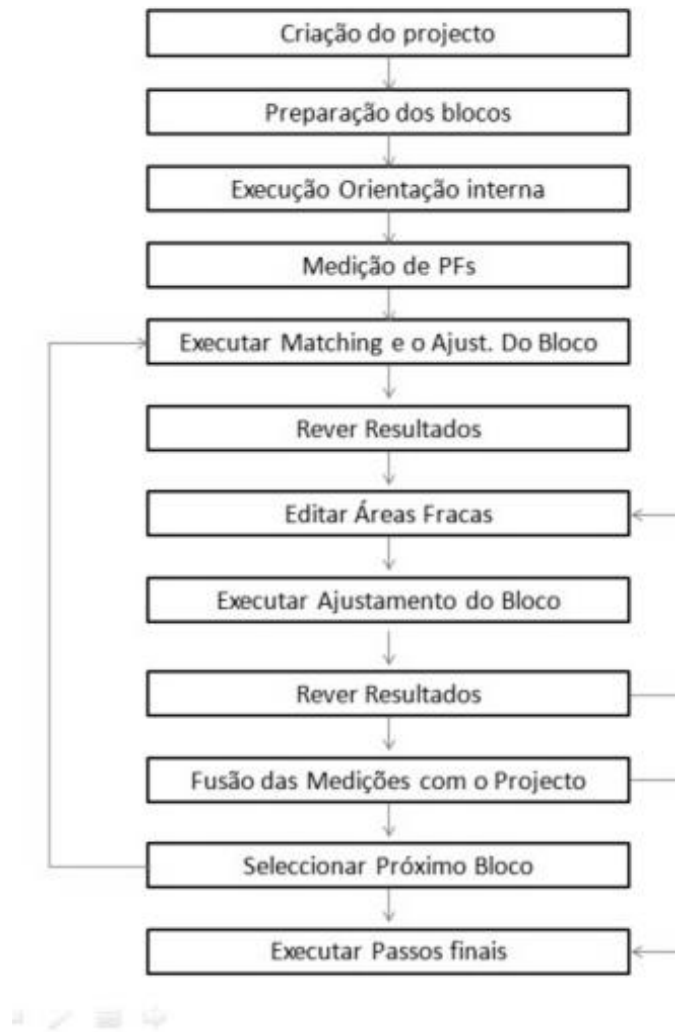
7. POSSÍVEIS INTERFERÊNCIAS

- a. Interferências electromagnéticas: Não existem no local antenas de: Rádio/Telemóveis/Radar
- b. Fontes de Multitrajecto: Não existem
- c. Obstrução do Sinal GNSS: Não há edifícios nem árvores mais altas nas proximidades do local

8. PONTO DE CONTACTO / INFORMAÇÕES

- a. Entidade: Instituto Geográfico do Exército
- b. Sigla: IGeoE
Endereço electrónico: <mailto:igeoe@igeoe.pt?subject=Projecto SERVIR>
- c. Primeiro Contacto: Departamento de Disponibilização de Informação
Responsável: Tenente-Coronel António Pereira
Telefone: 218505323
Central: 218505300
- d. Segundo Contacto: Secção de Topografia
Responsável: Major Rui Dias
Telefone: 218505361
Central: 218505300

Anexo H - Fluxo de trabalho no *software* ISAT®.



Anexo I – Parâmetros de Orientação Externa obtidos.

Folha	Fiada	Foto	X0 (m)	Y0 (m)	Z0 (m)	OMEGA(°)	PHI(°)	KAPPA(°)
44	G	15	11449.071	221062.641	4309.066	-0.157	0.042	178.955
44	G	16	11468.362	222183.362	4293.112	-1.604	-0.353	178.064
44	G	17	11472.108	223328.052	4296.347	-1.090	-0.699	-179.827
44	G	18	11417.618	224479.058	4290.638	-0.020	-0.924	-178.783
44	G	19	11368.250	225597.174	4286.468	0.840	-0.408	-178.341
44	G	20	11301.420	226705.238	4281.023	-0.286	-0.646	-177.543
44	G	21	11240.767	227792.716	4279.167	0.735	-0.661	-178.317
44	G	22	11189.353	228872.635	4274.878	0.342	-1.261	-179.417
44	H	54	12835.733	228701.870	4249.352	-1.161	0.760	173.522
44	H	55	12756.259	227699.480	4252.071	-0.383	0.677	175.508
44	H	56	12692.655	226680.415	4246.735	0.012	-0.033	176.911
44	H	57	12668.438	225651.493	4249.038	-1.582	1.439	178.560
44	H	58	12667.540	224658.571	4251.649	-1.051	1.230	179.537
44	H	59	12670.874	223674.431	4254.835	-1.603	0.323	178.908
44	H	60	12657.609	222707.403	4256.243	-1.818	0.936	-179.597
44	H	61	12670.776	221741.147	4255.212	-1.584	0.374	-179.557
44	H	62	12682.270	220780.347	4250.765	0.319	0.847	179.794
44	I	69	15038.199	221636.474	4272.604	-0.331	-0.681	-179.929
44	I	70	15035.431	222455.503	4278.047	0.765	-0.721	179.098
44	I	71	15040.708	223401.961	4277.433	-0.210	-1.094	178.710
44	I	72	15022.233	224424.642	4281.374	0.000	-0.318	-178.604
44	I	73	14966.414	225462.801	4284.417	-0.242	-0.995	-176.923
44	I	74	14892.839	226502.114	4290.432	-0.457	-1.323	-177.195
44	I	75	14820.150	227554.875	4290.232	0.098	-0.511	-178.381
45	A	25	16501.373	228477.338	4182.940	0.135	0.617	174.900
45	A	26	16484.232	227604.240	4194.360	-0.859	2.750	177.759
45	A	27	16531.375	226708.404	4200.945	1.015	1.461	-178.989
45	A	28	16586.802	225811.891	4211.239	-0.245	1.149	-179.347
45	A	29	16641.632	224914.434	4220.997	1.392	1.467	179.981
45	A	30	16674.754	224008.882	4232.535	0.450	1.018	179.114
45	A	31	16659.500	223120.391	4239.042	0.881	-0.415	172.048
45	A	32	16526.568	222261.584	4251.999	0.115	1.993	172.701
45	A	33	16462.147	221394.815	4249.127	-0.282	0.860	175.293
45	A	34	16419.792	220533.147	4247.572	1.246	1.470	176.028

RECOVERING MISSING LANDSCAPES THROUGH HISTORICAL AERIAL IMAGES

João Fonte¹, Paula Redweik², José Alberto Gonçalves³, Leonor Vila Lobos⁴, Mário Filipe⁵

1. Institute of Heritage Sciences (Incipit), Spanish National Research Council (CSIC), Santiago de Compostela, Spain; joao.fonte@incipit.csic.es
2. Center of Geology, Department of Geographical Engineering, Geophysics and Energy, Faculty of Sciences, University of Lisbon, Lisbon, Portugal; pmredweik@fc.ul.pt
3. Department of Geosciences, Environment and Land Planning, Faculty of Sciences, University of Porto, Porto, Portugal; jagoncal@fc.up.pt
4. Department of Geographical Engineering, Geophysics and Energy, Faculty of Sciences, University of Lisbon, Lisbon, Portugal; fc33292@alunos.fc.ul.pt
5. Department of Geographical Engineering, Geophysics and Energy, Faculty of Sciences, University of Lisbon, Lisbon, Portugal; fc36566@alunos.fc.ul.pt

ABSTRACT

By means of historical data sources, in particular aerial photos from the 40s and 50s of the 20th century, we analyze change and resilience of severely altered landscapes, irreversibly affected in the last decades by the construction of dams. We will discuss two case studies in northern Portugal, currently belonging to the Montalegre municipality. Both are pre-industrial rural landscapes whose physical features were fossilized in the 50s and 60s of the 20th century by the construction of dams. Using photogrammetric methods, we seek to digitally recover different archaeological features and the topographic shape of those landscapes prior to their flooding. We pay particular attention to the Late Iron Age-Roman transition, where significant changes took place that left visible marks on the landscape.

This information was integrated in a GIS project, where it was combined with other available data sources, both recent and historical, in order to read and understand these nowadays flooded landscapes.

INTRODUCTION

The case studies, the Venda Nova and Alto Rabagão dams, lie in northern Portugal and constitute two large submersed areas along the Rabagão river valley (Figure 1). Dams for hydroelectric power generation built in the 50ies and 60ies of the 20th century originated lakes that submerged, among other things, several cultural heritage elements, inaccessible since then. In Venda Nova, the 97m high dam was completed in 1951 and submerged 400 hectares widening the original river meanders carved in the mountains. As for Alto Rabagão, the dam is 94m high and was inaugurated in 1964 submerging 2212 hectares of land.

As part of a PhD research (João Fonte, that generally deals with the study of the Late Iron Age-Roman transition archaeological landscapes in Northwest Iberia) and two master thesis in Geographical Surveying (Leonor Vila Lobos and Mário Filipe), we intend to digitally recover the flooded areas by the construction of the Venda Nova and Alto Rabagão dams, allowing us to recover both natural and cultural elements that are currently hidden by the dams. This information has an enormous historical value, since it's the only way to approach their study (1). The cartographic products obtained from this work will allow us to restore the physical and visual structure of these preindustrial submerged landscapes and, in this case, to digitally retrieve various elements related to the cultural heritage of the submerged zones. Specifically, we aim to digitally recover the Roman Via XVII that passed through this valley (one of the main Roman roads in Northwest Iberia linking *Bracara Augusta* (nowadays Braga) to *Asturica Augusta* (Astorga) through *Aquae Flaviae* (Chaves), the historical connection between the interior and the coast of northern

Portugal), whose route wasn't known yet, and a set of Iron Age and Roman settlements, among other cultural heritage elements.

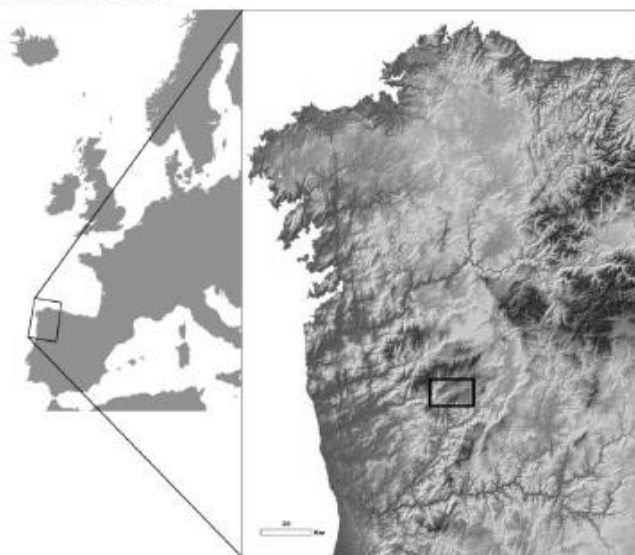


Figure 1: Study area

METHODS

The recovery of the landscape as it was before the flooding began with the search of old aerial photos of the region. In the archives of the *Instituto Geográfico do Exército*, the Portuguese Army Geographic Institute, the authors found one of the first aerial surveys held in Portugal for cartographic purposes, in concrete to produce the first 1:25.000 military chart of the country, conducted by the former *Serviço Cartográfico do Exército*, the Portuguese Army Mapping Service, where the whole valley landscape was visible. We also work with historical aerial photos from the British Royal Air Force - RAF (1947), in the case of the Venda Nova dam, and the United States Air Force - USAF (1958) flights, in the case of Alto Rabagão, although the results were not as satisfactory, yet they serve more as a comparative basis. In this paper we will focus on the work with the first group of photos mentioned above.

The regions of interest are covered by several North-South oriented strips with ideal overlapping to form a regular block covering the area of each lake. From earlier projects which used aerial images of the same camera (2) was already known that the photos were obtained with a german Carl Zeiss Jena RMK S1818 aerial camera using an Orthometar 1:4.5 objective with 21cm focal length, distributed by Zeiss-Aerotopograph in Jena since 1935. They have an 18 cm x 18 cm format and present photogrammetric quality with perfectly measurable fiducial marks (white dots in black background). Unfortunately, like for most of the old flights, the calibration certificate is missing.

The block of Venda Nova is composed by 34 photos in 4 strips (Figure 2) while the block of Alto Rabagão includes 7 strips with 60 photos (Figure 3). The photos are black and white and according to an old cartogram found in the archives, they were obtained in 1949. Photo scale is approximately 1: 16.000.

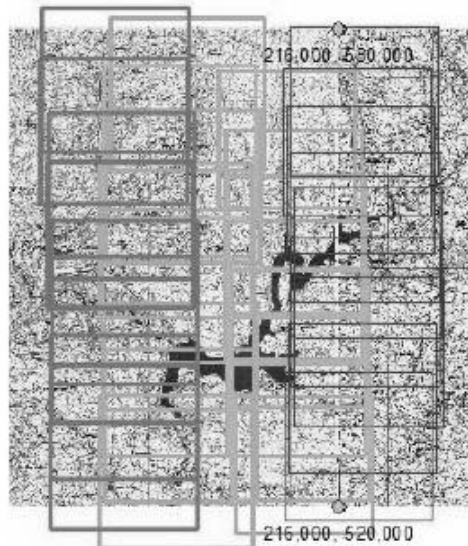


Figure 2: Block disposition in Venda Nova over 1:25.000 maps from 1951 where the flooded landscape was already mapped

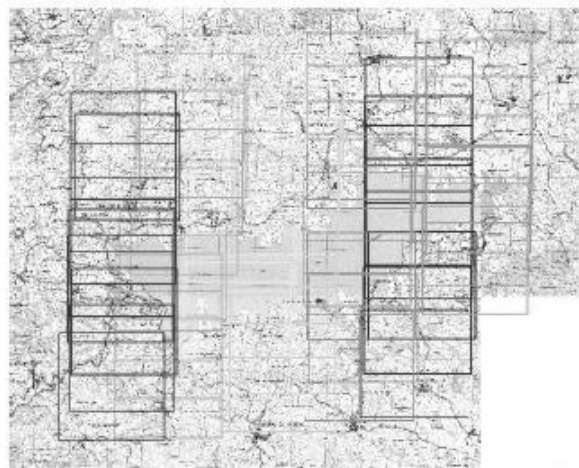


Figure 3: Figure 4: Block disposition in Alto Rabagão over 1:25.000 recent maps

The spatial orientation of the two blocks was achieved by bundle adjustment triangulation based on sets of ground control points (GCP) that were chosen according to several criteria. They should be conspicuous features both in the old photos and in the present terrain and be accessible, i.e. nearby present roads and of course outside the lakes. Due to the rough character of the landscape, that suffered partial abandon of existing rural structures due to emigration in the 60ies, and the time interval of over sixty years between the photos and the present days, it was not very easy to find suitable GCPs. A set of 14 GCPs in Venda Nova (Figure 4) and 25 GCPs in Alto

Rabagão (Figure 5) were determined in the field by means of GPS positioning with stationing sessions of 10 minutes. The signal of a permanent GPS network couldn't be used for positioning with RTK (Real Time Kinematic) since the coverage of the needed mobile phone network was insufficient in the region. Anyway these points have sub-decimeter accuracy, more than enough for this project.



Figure 4: Distribution of GCPs in Venda Nova

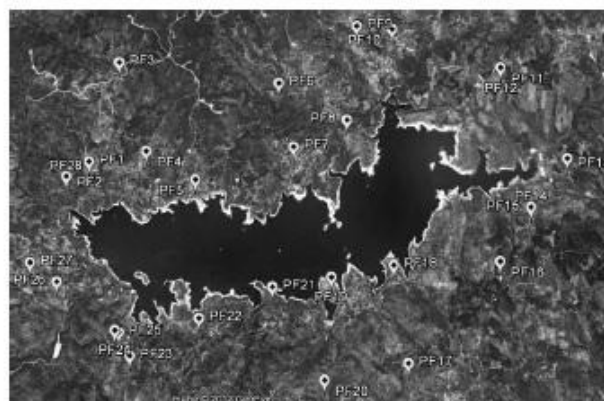


Figure 5: Distribution of GCPs in Alto Rabagão

The exterior orientation parameters obtained from the bundle triangulation were used in the generation of a 5 m digital surface model (DSM) through automatic image correlation for each of the regions recovering so the original form of the valleys before the flooding (Figure 6 and Figure 7). Some accuracy analysis of these DSMs was made by comparing heights estimated by these models and digital terrain model (DTM) derived from recent cartography of scale 1:10.000. For samples of 100 random points in each of the areas (outside the flooded areas), height differences were found to have a root mean square error (RMSE) of 2.2 m in the case of Alto Rabagão and 2.7 m in Venda Nova. This analysis confirms that, despite all the difficulties in dealing with old photographs, results are comparable to what can be achieved today for medium scale mapping.

Furthermore, we are comparing a DTM with a DSM, although here the vegetation is not very abundant.

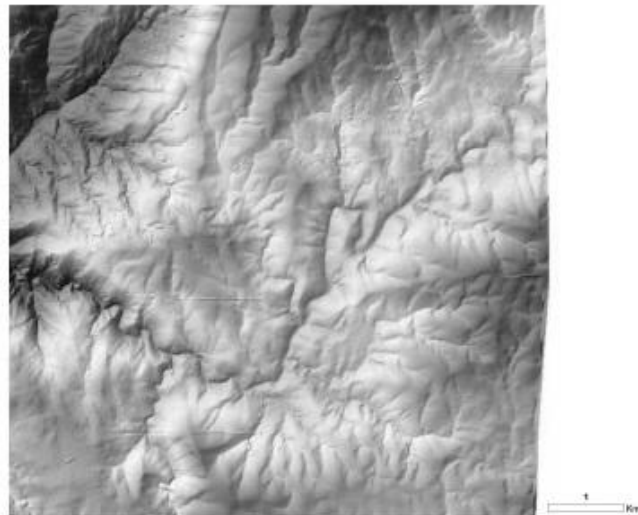


Figure 6: Venda Nova DSM

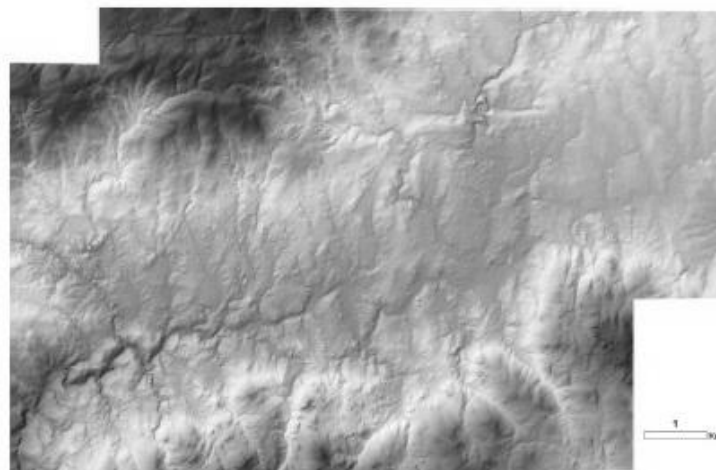


Figure 7: Alto Rabagão DSM

Based on the determined DSMs two 50 cm orthomosaics were produced (Figure 8 and Figure 9). Finally a 3D model with photographic texture was generated allowing the navigation and analysis of landscapes that don't exist anymore by means of a virtual georeferenced representation.

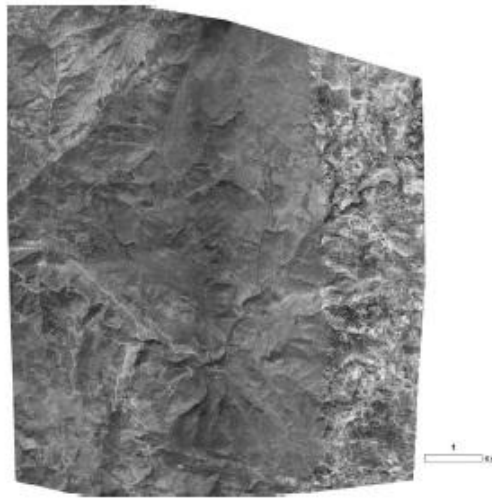


Figure 8: Venda Nova orthomosaic



Figure 9: Alto Rabagão orthomosaic

RESULTS

We present some provisional results, specifically related with the digital recovery of the Roman Via XVII route in the areas flooded by the dams (Figure 10 and Figure 11) and also other particular cases related with two Iron Age settlements, whose structure was particularly affected by the construction of dams. (Figure 12 and Figure 13). A recent decrease in the water level allowed us to document, among other elements, one of the structures associated with the Roman Via XVII, the Roman *Ponte do Arco* (arch bridge) in the flooded area by the Venda Nova dam (Figure 14).

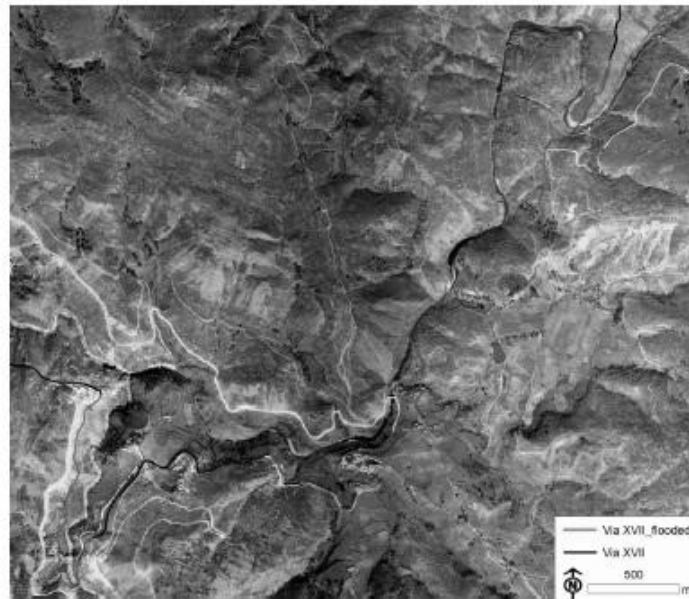


Figure 10: Reconstruction of the Roman Via XVII route in Venda Nova



Figure 11: Reconstruction of the Roman Via XVII route in Alto Rabagão

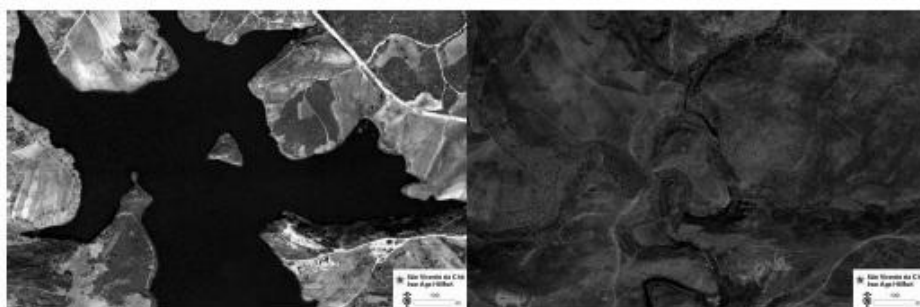


Figure 12: São Vicente da Chã hillfort in Alto Rabagão. Left nowadays, right 1949



Figure 13: Codeçoso hillfort in Venda Nova. Left nowadays, right 1949



Figure 14: The Roman Ponte do Arco in Venda Nova

CONCLUSIONS

As this is still a work in progress, the results are still rather provisional, although quite promising. So far, the part that is more developed is the cartographic production from the historical aerial photos. In the near future, we intend to widely develop the results and their historical interpretation, especially with GIS spatial analysis for the reconstruction of ancient landscapes, settlement patterns analysis and social change, particularly in Late Iron Age-Roman transition. Previous work (3) has highlighted the potential of the photogrammetric restitution process of historical aerial photos for the study of ancient landscapes, particularly those already irreversibly altered, allowing us to reconstruct their physical and visual structure and producing products that can be integrated into any GIS platform for further analysis.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks are due to the *Instituto Geográfico do Exército* in Lisbon for allowing the use of the historical aerial photographs and for supporting the authors in this project.

REFERENCES

- 1 Cowley D, & Stichelbaut, B, 2012. Historic Aerial Photographic Archives for European Archaeology. *Journal of European Archaeology*, 15-2: 217-236.
- 2 Redweik P, D Roque, A Marques, R Matildes & F Marques, 2010. Triangulating the Past: Recovering Portugal's Aerial Images Repository. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76-9: 1007-1018.
- 3 Cerrillo-Cuenca E, 2011. Recorriendo un territorio desaparecido: restitución fotogramétrica y análisis del paisaje de la necrópolis prehistórica del vado de Alconétar. In: *Actas del V Simposio Internacional de Arqueología de Mérida Tecnologías de Información Geográfica y Análisis Arqueológico del Territorio*, edited by V Mayoral-Herrera & S Celestino-Pérez (Anejos de AEspA LIX, IAM-CSIC, Junta de Extremadura, Consorcio de Mérida, Mérida), 145-159.